

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи

УДК 004.896

НЕВОЛИНА Алена Леонидовна

**Разработка метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети  
автозаправочных станций**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических  
системах (технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
кандидат технических наук, доцент  
Аксенов Константин Александрович

Новосибирск 2017

## Содержание

Введение.....	4
1. Проведение анализа методов и программных средств моделирования процессов логистики и планирования перевозок .....	11
1.1. Задачи логистики и управления грузоперевозками.....	11
1.2. Анализ опыта разработки и внедрения гибридных систем поддержки принятия решений .....	16
1.3. Показатели качества логистических цепей и их оценка .....	18
1.4. Обзор программных систем в сфере управления перевозками.....	19
1.5. Специфика цепей поставок сетей автозаправочных станций .....	34
1.6. Постановка задачи диссертационного исследования.....	38
2. Разработка гибридного метода принятия решений для планирования нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций (АЗС) .....	39
2.1. Постановка задачи на разработку метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС.....	39
2.2. Анализ существующих методов планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС.....	40
2.2.1. Анализ применимости транспортной задачи .....	40
2.2.2. Анализ существующих мультиагентных подходов, применяемых в логистике .....	54
2.2.3. Экспериментальный анализ применимости ПВ-сетей и модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР).....	58
2.3. Выбор модели представления знаний для мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов .....	72
2.4. Разработка метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС.....	78
2.5. Выводы .....	95
3. Разработка, тестирование и отладка метода гибридного имитационного	

моделирования процессов логистики на основе интеллектуальной системы	
планирования .....	98
3.1. Структура интеллектуальной системы планирования .....	98
3.2. Переменные среды .....	101
3.3. Структура мультиагентной имитационной модели сети АЗС .....	105
3.5. Принцип работы модели .....	108
3.4. Выводы .....	120
4. Внедрение системы поддержки принятия решений процессов логистики на	
предприятии .....	122
4.1. Задача планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС .....	122
4.2. Задача анализа работы станции технического обслуживания .....	134
4.3. Задача планирования цепи поставок для сети магазинов	
стройматериалов .....	146
4.4. Выводы .....	151
Заключение .....	152
Список сокращений и условных обозначений .....	156
Список литературы .....	158
Список публикаций автора .....	173
Приложение 1. Акты внедрения .....	176

## Введение

**Актуальность темы.** Данная работа посвящена вопросам анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок. Цепи поставок могут включать в себя производственные процессы и снабжение, изготовление, сбыт продуктов, логистические процессы поставок ресурсов. Организация цепей поставок и системы перевозок является сложной задачей большой размерности, которая фактически сводится к долгосрочному и краткосрочному планированию перевозок, а также оперативному управлению транспортными средствами и решению задачи диспетчеризации. Для их решения применяются численные методы и эвристические подходы. Значительный интерес для решения данных задач представляет исследование возможности применения мультиагентного подхода к задаче планирования перевозок для нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций (АЗС).

Одним из способов решения задач планирования является применение систем поддержки принятия решений (СППР) на основе эффективных численных методов, имитационных и мультиагентных моделей. Такие модели позволяют «проиграть» различные схемы управления парком транспортных средств с учётом текущей ситуации (срочности и объемов грузоперевозок, состояния и дислокации транспортных средств, остатков топлива в транспортных средствах, размещения АЗС), проанализировать различные варианты развития событий и выбрать наиболее эффективное решение на заданный момент времени.

Разработка гибридного метода планирования является актуальной задачей. В настоящее время наблюдается существенный интерес к области мультиагентных систем, спецификой которых является наличие сообществ взаимодействующих агентов, отождествляющихся с лицами, принимающими решения (ЛПР). Интеграция численных методов, имитационного моделирования (ИМ) и мультиагентных систем позволит использовать опыт специалистов в контуре СППР.

В этой связи разработка математических методов и информационной системы, обеспечивающей эффективное решение задач анализа логистических процессов и планирования нефтепродуктообеспечения на основе совместного использования мультиагентного подхода и численных методов, является актуальной. В становление метода мультиагентного планирования поставок по сети АЗС существенный вклад внесли работы Безродного А.А., Борщёва А.В., Виттиха В.А., Глухарева К.К., Городецкого В.И., Давлетьярова Ф.А., Доронина В.В., Жанчивын Оюунгэрэл, Зоря Е.И., Кантора Ф.М., Карпова Ю.Г., Карсаева О.В., Клыкова Ю.И., Коваленко В.Г., Парунак Х.Д., Плитмана И.Б., Прохорова А.Д., Скобелева П.О., Филипповича А.Ю., Хабарова А.С., Хабарова С.Р., Цагарели Д.В., Шарифова В.С., Швецова А.Н., Jennings N.R., Wooldridge M.J.

**Цели и задачи исследования.** Целью исследования является разработка инструментария для планирования и управления процессом нефтепродуктообеспечения сети АЗС. Для реализации основной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ универсальных и проблемно-ориентированных систем ИМ и специализированных средств управления и планирования процессов логистики и цепей поставок, определить их преимущества и недостатки.
2. Выполнить анализ моделей и методов, применяемых при решении задач планирования, диспетчеризации и распределения ограниченного набора ресурсов для цепи поставок и процессов логистики.
3. Разработать метод анализа и планирования для процессов логистики и цепей поставок сетей АЗС и их элементов, учитывающий конфликты на ресурсах и средствах, а также опыт предметных специалистов.
4. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение для реализации мультиагентного метода анализа, планирования, моделирования и управления процессами логистики и цепей поставок для снабжения сетей АЗС.

**Объект исследования.** Процессы логистики и цепи поставок топливных предприятий.

**Предмет исследования.** Методы гибридного (численного, мультиагентного, имитационного, экспертного) моделирования, планирования и управления процессами логистики и цепей поставок.

**Методы исследования:** методы системного анализа и синтеза, теория и методы искусственного интеллекта, численные методы, аппарат экспертных систем (фреймы и продукции), теория и методы принятия решений, планирования, мультиагентный подход.

**Научная новизна исследований заключается в следующем:**

1. На основе анализа особенностей задачи планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, анализа существующих методов планирования и тенденций развития СППР в области логистики выявлена необходимость интеграции транспортной задачи и мультиагентного подхода.
2. Экспериментально обоснован выбор модели МППР в качестве мультиагентной составляющей метода по критериям эффективности планирования и меньшим вычислительным затратам.
3. Предложен новый метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС в результате интеграции транспортной задачи, мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов.
4. Произведено расширение модели реактивно-интеллектуального агента МППР и алгоритма мультиагентного имитационного моделирования путем введения правил глобальных условий, минимизирующих вычисления.
5. Предложены новые алгоритмы планирования и диспетчеризации для задачи нефтепродуктообеспечения сети АЗС, учитывающие знания специалистов.

**Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту:**

1. Метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, который отличается от существующих методов следующим:

- учетом потерь объема продаж при простоях «сухой» АЗС и сливе топлива бензовозом;

- применением ранжирования и отсеивания потребностей с АЗС с учетом статистики потребления и времени до следующей смены поставок;
- использованием транспортной задачи для распределения поставок с нефтебаз до АЗС, согласно стратегий поставок и остатков на АЗС и нефтебазах;
- учетом ограничений по времени поставки топлива в зависимости от остатков топлива в емкости АЗС;
- учетом статистики (спадов и пиков) отгрузки топлива с емкостей АЗС при планировании поставок не для срочных заявок;
- построением планов поставок ресурсов с учетом ограничений на ресурсы и средства, срочностью заказов, а также учетом опыта (эвристик) специалистов-предметников по управлению логистическим процессом;
- моделью интеллектуально-реактивного агента, продукционная база знаний которого состоит из двух типов правил (обычных и правил глобальных условий). Сочетание двух типов правил позволяет минимизировать вычисления.

*Соответствует п. 1 паспорта специальности: Разработка теоретических основ и методов принятия решений в социальных и экономических системах; п. 10: Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах.*

2. Компьютерная технология создания мультиагентных моделей логистических процессов и поддержки принятия решений для задачи планирования снабжения сети АЗС, отличающаяся от существующих:

- организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с СППР (вводе, корректировке данных, создании моделей и решении задач);
- учетом конструктивных особенностей транспортных средств и их возможностей при обслуживании АЗС;
- учетом расстояний удаленности объектов сети АЗС, учетом близких АЗС;
- интеграцией со средствами мультиагентного ИМ процессов логистики;
- поддержкой задач планирования и диспетчеризации в ручном, автоматическом и автоматизированном режиме.

*Соответствует п. 5 паспорта специальности: Разработка специального математического и программного обеспечения принятия решений в социальных и экономических системах.*

**Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается следующим:** привлечением формальных логических теорий для доказательства результатов исследований; результатами вычислительных экспериментов, демонстрирующих согласованность результатов моделей сети АЗС построенных с применением следующих подходов: сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) и мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов (МППР); результатами расчетов планов развоза и их сопоставлением с фактическими планами, полученными предметными специалистами; и применением новой компьютерной технологии планирования и анализа на топливном предприятии.

**Личный вклад автора состоит в:**

- исследовании существующих систем имитационного моделирования, анализа и планирования цепей поставок и процессов логистики;
- анализе методов планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС;
- разработке метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, основанного на интеграции транспортной задачи, гибридной мультиагентной имитационной модели МППР;
- применении к задаче моделирования сети АЗС мультиагентного подхода ПВ-сетей П.О. Скобелева и В.А. Виттиха и модели МППР.

**Теоретическая значимость исследований** заключается в развитии теории и методов принятия решений в области процессов логистики, планирования снабжения топлива, построения интеллектуальных СППР, компьютерного моделирования, интегрированных экспертных систем с использованием гибридных моделей.

**Практическая значимость** работы состоит в том, что разработанный метод планирования и анализа для процесса логистики сети АЗС и информационная технология внедрены в ООО "Башнефть-Розница" и могут применяться на других



предприятиях нефтепродуктообеспечения сетей АЗС. Кроме того, результаты работы применены в ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург», учебном процессе кафедры Информационных технологий (ИТ) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (Sevastopol, 2013-2016); World Congress on Engineering and Computer Science 2016 (San Francisco, USA 2016); Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'14, Monterey, USA; SummerSim'15, Chicago, USA); Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД, Казань 2013, Москва 2015).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ из них 7 в журналах рекомендованных ВАК, получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем основной части работы составляет 178 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 73 рисунка и 40 таблиц. Список литературы включает 125 наименований.

В первой главе обосновывается необходимость разработки новых средств анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок. Показано разнообразие логистических процессов. Рассмотрены существующие подходы анализа, планирования и моделирования процессов логистики. Приводится обзор наиболее распространенных систем имитационного моделирования и планирования процессов логистики и цепей поставок. Определены требования к системе анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок для нефтепродуктообеспечения сетей АЗС.

Во второй главе определены требования к новому методу планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС, рассмотрена возможность применения транспортной задачи и определены границы ее применимости, выявлены ограничения для нового метода. Разработан метод планирования для

нефтепродуктообеспечения на основе интеграции транспортной задачи (применяемой для распределения объема перевозок между нефтебазами и АЗС); фреймовых экспертных систем (применяемых для построения алгоритма машины логического вывода метода планирования и учета эвристик предметных специалистов, статистик работы АЗС, ограничений предметной области); имитационного моделирования на основе модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов, применяемой для анализа узких мест.

Задача планирования поставок для логистической сети АЗС топливного предприятия и ее программная реализация решена в третьей главе с использованием гибридного подхода в результате применения эвристического алгоритма планирования на основе фреймового подхода и имитационного мультиагентного моделирования, численного метода. В третьей главе излагаются принципы построения системы анализа, планирования и моделирования процессов логистики, топливного предприятия.

В четвертой главе рассмотрено применение программного комплекса анализа, планирования и моделирования для задачи планирования и управления развозом топлива по сети автозаправочных станций в едином диспетчерском центре куста Свердловской области ООО "Башнефть-Розница". Решена задача анализа работы станции технического обслуживания "Тойота Центр Юг Екатеринбург" (ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург»).

## **1. Проведение анализа методов и программных средств моделирования процессов логистики и планирования перевозок**

Существенный вклад в развитие теории анализа, планирования и моделирования процессов логистики и цепей поставок внесли труды российских и зарубежных ученых: Безродного А.А., Борщёва А.В., Виттиха В.А., Глухарева К.К., Городецкого В.И., Давлетьярова Ф.А., Доронина В.В., Жанчивын Оюунгэрэл, Зоря Е.И., Карпова Ю.Г., Кантора Ф.М., Карсаева О.В., Клейнрока Л., Клыкова Ю.И., Коваленко В.Г., Парунак Х.Д., Плитмана И.Б., Прохорова А.Д., Скобелева П.О., Филипповича А.Ю., Швецова А.Н., Шеера А.В., Уэно Х., Хабарова А.С., Хабарова С.Р., Цагарели Д.В., Шарифова В.С., Jennings N.R., Wooldridge M.J.

### ***1.1. Задачи логистики и управления грузоперевозками***

Высокие требования к качеству конечного продукта промышленного производства, непрерывное удорожание топливно-сырьевых ресурсов, большая доля в себестоимости продукции затраченных на этапе производства энергоресурсов определяют необходимость внедрения новых технологий, как в непосредственном производстве, так и в решении организационных вопросов, затрагивающих всю инфраструктуру предприятия. Промышленное производство характеризуется перемещением больших объемов тяжелых и специфичных по физическим и химическим характеристикам грузов, разнообразием операций и используемых технических средств. Ряд производств, например, металлургические, отличают высокие требования к температурному режиму, определенные требования накладывает непрерывность технологического процесса. К особенностям металлургических и машиностроительных

предприятий относится детализация производственной логистики на межцеховую и цеховую, что в свою очередь накладывает свои требования, как к организации снабжения, так и к планированию производства. В результате формируется существенная зависимость времени производства и стоимости продукции от транспортных, складских затрат и других издержек, связанных с логистикой [43].

Логистические задачи возникают в рамках изменения производственных мощностей и при оптимизации, повышении эффективности организации существующего производства (рисунок 1.1).

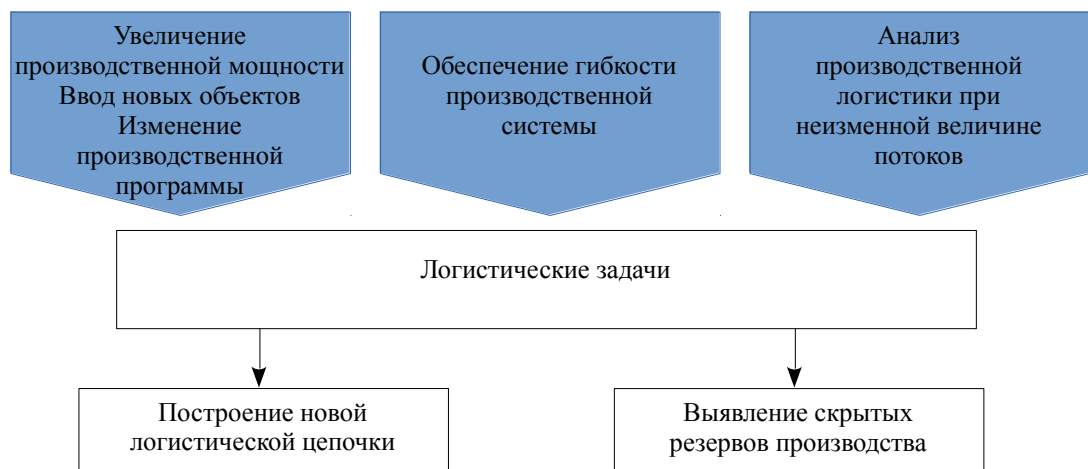


Рисунок 1.1. Цели, определяющие постановку логистических задач, и пути их достижения

Управление грузоперевозками – сложный трудоемкий процесс. Основной задачей является решение таких вопросов, как ускорение перевозки, определение оптимального маршрута, снижение финансовых затрат.

Наиболее критичными являются ошибки при решении следующих задач:

- планирование загрузки (недогруз, простои);
- планирование маршрутов;
- мониторинг местонахождения и состояния транспортных средств.

Ошибки при решении этих задач грозят лишними затратами, снижением рентабельности и, как следствие, снижение конкурентоспособности.

Основой планирования перевозок являются расписания и графики перевозок, составленные на основе систематизации заключенных договоров, поданных заявок, изучения грузопотоков. Последнее предполагает анализ грузоперевозок за

определенный период времени, как на отдельных маршрутах, так и на всей маршрутной сети. Для сбора статистических данных о перемещениях автопарка можно использовать ГЛОНАСС/GPS трекеры и гео-информационные системы мониторинга автотранспорта (например, TraceReports).

Выделяют следующие типы производств [17, 18]: поточное производство (массовое производство, flowshop); производство на заказ (jobshop).

При **поточном производстве** продукции определенного типа имеет место один технологический маршрут, подразумевающий одинаковую последовательность производственных операций. Организация производства (расположение машин, рабочих столов, сборочных линий и т.д.) спроектирована так, чтобы способствовать движению «потока» продуктов, минимизировать манипуляции с материалами и комплектующими. Производство работает в определенном темпе и продукты обычно производятся «на объем». При этом оборудование производственной линии часто узко специализировано для производства одного типа продукции. Управление запасами подчинено ритму работы производственной линии. Критическим фактором является отсутствие материалов и комплектующих. При поточном производстве говорят, что имеется непрерывная организация производства. Примерами дискретного поточного производства могут служить производство бытовой электроники, металлургические производства [17-18].

При **производстве на заказ** в центре внимания оказывается не технологический процесс, как в случае с поточным производством, а заказ. Наиболее характерными чертами производства на заказ являются следующие [17]:

- универсальное оборудование может быть настроено на выполнение различных технологических операций;
- происходит группирование сходного по функциям оборудования в рабочие центры;
- производимая продукция изготавливается по заказам и одновременно идет обработка многих заказов:

- для управления производством необходима подробная информация о заказах и рабочих центрах, включая, например, сведения о последовательности обработки заказов на рабочих центрах, определение приоритета заказов, потребности каждого заказа во временных ресурсах, знание состояния выполняемых заказов, производственной мощности рабочих центров, потребности в производственных мощностях для критических рабочих центров;
- необходимо координировать планирование заказов и наличие необходимых ресурсов (материала, персонала, инструментального обеспечения).

При производстве на заказ необходимо отслеживать исполнение плана и отклонения, как в разрезе заказов, так и в разрезе рабочих центров (машин, рабочих). Типичной проблемой здесь может быть неравномерность загрузки различных рабочих центров. Таким образом, сложно без специального инструментария управляться с сотнями производственных заказов, ежедневно проходящих через предприятие [14].

В металлургическом производстве технологическим операциям соответствуют переделы, а рабочим центрам – цеха и производственные участки, оснащенные агрегатами, станками и оборудованием. Неравномерность загрузки рабочих центров приводит к возникновению узких мест.

В соответствии с положениями общей теории систем (А. Чандлер, П. Лоуренс, Дж. Лорш) организация должна рассматриваться в единстве ее составных частей, которые неразрывно связаны с внешним миром (ранее предприятия традиционно учитывали только собственные ресурсы, ограничения и стратегии). Поэтому при принятии решений по управлению предприятием необходимо дополнительно учитывать взаимодействие предприятия с поставщиками и потребителями. Если все операции, необходимые для поставки изделия конечному потребителю, рассматривать как звенья единого процесса преобразования ресурсов и управлять ими с этой позиции, то можно достичь существенного снижения издержек, уменьшения объема незавершенного производства и увеличения доходности сбыта. Управлением цепочками поставок

занимается Supply Chain Management, который представляет собой процесс планирования, исполнения и контроля потоков сырья, материалов, незавершенного производства, готовой продукции, а также обеспечения эффективного и быстрого сервиса за счет получения оперативной информации о перемещениях товара [19].

Для диагностики неравномерных загрузок процессов, оборудования и персонала может быть использованы имитационное моделирование, операционный анализ вероятностных сетей [91-92] и метод анализа узких мест мультиагентной модели [38, 93], применяемый для технологических, логистических и бизнес-процессов.

При проектировании систем планирования цепей поставок важно вести контроль сроков выполнения поставок и выполнения отдельных заказов, диагностировать узкие места, возникающие в транспортной сети и логистических центрах, таким образом, необходимы средства анализа и моделирования систем логистики, основанные на аппарате систем массового обслуживания, а также отслеживать следующие параметры:

- контроль выполнения сроков конкретного заказа;
- атрибуты у заявок (срок поставки, объем поставки);
- приоритет у заявки;
- приоритет у операции;
- тип приоритета у операции (для моделирования прерывания и переброски ресурсов и средств на выполнение более срочной заявки);
- приоритетное выполнение заявок (заявка с большим приоритетом обслуживается в первую очередь + использование различных стратегий FIFO, LIFO)
- максимальное время ожидания в очереди;
- коэффициент использования (основная характеристика операционного анализа);
- средний объем склада.

Выше перечисленные параметры и последствия оказываемых на них изменений в логистическом процессе лучше отслеживать на имитационных моделях.

### ***1.2. Анализ опыта разработки и внедрения гибридных систем поддержки принятия решений***

При проведении системного анализа логистических, производственных, организационно-технических систем (ОТС) и бизнес-процессов обычно описывают следующие составляющие: миссию, виденье, стратегии, процессы [3, 9]. Разработка прикладных систем поддержки принятия решений на основе гибридных (динамических и интеллектуальных) моделей требует поддержки следующих функций [3, 9]:

- 1) проектирование концептуальной модели предметной области;
- 2) описание знаний о предметной области и вывод на знаниях;
- 3) описание динамических процессов преобразования ресурсов;
- 4) разработка иерархической модели процесса;
- 5) наличие языков описания ситуаций, команд (для описания модели управления);
- 6) построение мультиагентных моделей (наличие сообществ интеллектуальных агентов (ИА)). Модели ИА соответствуют моделям лиц, принимающим решения (ЛПР);
- 7) интеграция концептуального, имитационного моделирования (ИМ), экспертных систем (ЭС) и ситуационного управления (СУ);
- 8) интеграция с CASE-средством.

Несмотря на активное применение средств концептуального моделирования на основе языка UML в области разработки информационных систем, применение данных средств в инженерии ИМ ограничено [10]. Преимуществом подхода интеграции концептуального и ИМ является возможность быстрого перехода от



концептуальных моделей к моделям проектирования и применения (программной реализации) [10]. При решении задачи перехода от концептуальной модели к ИМ могут быть использованы онтологии или модели представления знаний. Онтология (в информатике) [11] – это попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила, принятые в этой области. Онтология определяется как  $O = \langle X, R, F \rangle$ , где  $X$  - конечное множество понятий предметной области,  $R$  - конечное множество отношений между понятиями,  $F$  - конечное множество функций интерпретации [11]. Согласно терминологии ЭС  $F$  соответствует машина логического вывода (МЛВ).

Согласно опыту внедрения прикладных СППР на базе системы имитационного моделирования AnyLogic, значительная их часть приходится на логику. Создание систем имитационного моделирования (СИМ) является одним из перспективных направлений развития систем принятия решений. В настоящее время наблюдается существенный интерес к области мультиагентных систем (МАС), спецификой которых является наличие сообществ взаимодействующих агентов, отождествляющихся с лицами, принимающими решения [23-24]. Важной областью применения мультиагентных технологий является моделирование. Подходы к проектированию МАС разделяют на две группы: базирующиеся на объектно-ориентированных методах и технологиях, и использующие традиционные методы инженерии знаний [25]. Характерной особенностью применяемого в настоящее время программного обеспечения имитационного моделирования (ИМ) является ориентированность на пользователей-программистов, что создает значительные трудности для участия в создании и эксплуатации моделей пользователей, которые не обладают навыками программирования, но являются специалистами в своей области [23].

### ***1.3. Показатели качества логистических цепей и их оценка***

При оценке качества организации логистических цепей и бизнес-процессов в [26-27, 29] рекомендуют совместно с имитационным моделированием использовать функционально-стоимостной анализ. Данный подход реализован в системе BusinessStudio. В системе ресурсы бизнес-процесса разделяются на два типа: материальные и трудовые. Стоимость использования трудовых ресурсов зависит от времени их использования в процессе (например, стоимость дневной и ночной смены). Стоимость единицы материального ресурса задается константой. В системе Business Studio есть встроенные средства, с помощью которых можно пользователю идентифицировать узкие места процесса.

Качество логистической системы – это комплексный показатель, который определяется по совокупности критериев [65]:

- способность системы обеспечить доставку товара в требуемое место и в обусловленный срок;
- способность системы обеспечить должный уровень технического обслуживания реализованного изделия;
- соблюдение срока обработки заказа, включая время постановки заказа на выполнение;
- частота оборачиваемости всех запасов, определяемая как отношение величины товарооборота к величине складских запасов;
- общие затраты на материально-техническое обеспечение, приходящееся на единицу товарооборота;
- степень готовности поставщика (в %; рассчитывается как частное от деления объема удовлетворенных потребностей в указанный срок на общий объем потребностей);
- затраты на логистику;
- скорость оборота материальных ресурсов для отдельных складов (измеряется в сутках);

- расходы на отправленную единицу продукции;
- расходы на тонну-километр перевозимых грузов;
- загрузка склада и парка транспортных средств;
- уровень запасов;
- степень риска, связанная с содержанием запасов;
- качество и уровень сервиса;
- размер партии грузов;
- уровень использования производственных мощностей;
- маневренность, адаптивность и устойчивость логистической системы.

#### ***1.4. Обзор программных систем в сфере управления перевозками***

С учетом области решаемых задач выделяют виды логистики: закупочную, транспортную, сбытовую (распределительную), производственную, складскую. Кроме этого, в свете высоких требований к качеству выделяют сервисное обслуживание, информационную логистику. Помимо рассмотрения отдельных областей логистики как самостоятельных на различных этапах, необходимо их интегрировать в общей системе управления [43]. Для сравнительного анализа информационных систем в сфере логистики выбраны разработки, представленные на российском рынке программных продуктов:

- комплекс программных решений IBM для управления цепочками поставок [81], который включает в себя: 1) блок планирования цепочки поставок - включает модули оптимизации сети, проектирования и стратегического планирования; планирования маршрутов; оптимизацию запасов; управление принятием ответственных бизнес-решений в новых отраслях; 2) блок поддержания функционирования цепочки поставок - включает модули автоматизации входящих и исходящих транспортных процессов; оптимизацию бизнес-процессов в сетях дистрибуции; оптимизацию

процессов входящих и исходящих поставок на основе сквозной наблюдаемости; распространение B2B-возможностей на каждого поставщика; обеспечение соответствия деятельности поставщика установленным нормативным требованиям посредством управления продуктивностью в реальном времени;

- Roadnet Transportation Suite - пакет программных продуктов, направленных на оптимизацию транспортной логистики в сфере торговли [79];
- iSolutions-Логистика - система для расширенного управления складом на базе Microsoft Dynamics AX [77];
- программы для логистики компании «Первый БИТ» - транспортная и складская логистика [74];
- E-SKLAD - программное обеспечение для решения задач складской логистики [76];
- Solvo - автоматизация складских комплексов, автоматизация портов и контейнерных терминалов, управление цепочками поставок [80];
- DNA evolutions [75] - on-line сервисы для различных оптимизационных задач транспортного планирования: JOpt.NET, JOpt.SDK, JOpt.ASP, Jopt.J2EE;
- JDA - программное решение направлено на бизнес-трансформацию системы поставок. Объектом планирования является цепочка поставок на основе управления спросом, включающая точки продаж, промежуточные склады, распределительные центры, производственные объекты, поставщиков [78];
- AxaptaRetail - система, предназначенная для автоматизации управления на предприятиях крупного и среднего бизнеса, относящаяся к классу ERP II;
- Epicor - комплекс отраслевых ERP-систем на основе сервисно-ориентированной архитектуры и веб-сервисов.

Приведем результаты сравнительного анализа ИС по следующим критериям:

- обеспечение видов логистики (таблица 1.1);
- обеспечение функциональных уровней логистики [82] в рамках одного предприятия, организации (таблица 1.2). В таблицах 1.1 и 1.2 отмечены

виды / уровни, о наличии которых явно свидетельствует описание соответствующих программных продуктов.

Таблица 1.1 – Обеспечение информационными системами различных видов логистики[43]

Виды логистики	Информационные системы						
	IBM	Roadnet Transportation Suite	iSolutions-Логистика	DNA evolutions	JDA	Axapta Retail	Epicor
Закупочная	+				+	+	+
Производственная	±						+
Распределительная					+	±	±
Складская	+		+			+	+
Транспортная	+	+		+	+		
Сервисное обслуживание	±	+					+

Таблица 1.2 – Обеспечение информационными системами уровней логистики [43]

Уровень системы	Информационные системы						
	IBM	Roadnet Transportation Suite	iSolutions-Логистика <sup>1)</sup>	DNA evolutions	JDA	Axapta Retail	Epicor
Оперативный	+	+	+		+		±
Диспетчерский	+	+	+	+	+		+
Плановый	+				+	+	+

Наибольшее отражение в ИС имеют решения задач закупочной, складской (при этом из выборки в данное сравнение включены не все системы складской логистики), транспортной. Менее всего обеспечены функции производственной и распределительной логистики. Из вышеприведенных таблиц сравнения ИС по видам логистики и уровням системы видно, что масштабные системы, содержащие несколько разноплановых программных модулей, обеспечивают большинство видов логистики, как правило, на уровне прогнозирования, поиска комплексных эффективных решений для организации в целом, определения стратегии развития. Специализированные программные продукты складской и транспортной логистики ориентированы на обеспечение оперативного и

диспетчерского уровня. На стратегическом уровне чаще всего используется ситуационный анализ "что ..., если ..." и имитационное моделирование [43].

В таблицах 1.3 и 1.4 представлены результаты сравнительного анализа возможностей ИС для обеспечения наиболее распространенных видов логистики – транспортной и складской.

Таблица 1.3 – Сравнение программного обеспечения в сфере транспортной логистики [43]

№ п/п	Критерий оценки	Информационные системы		
		Roadnet Transportation Suite	Программы для логистики компаний «Первый БИТ»	DNA evolutions
1.	Разбиение территории на зоны обслуживания	ДА	ДА	ДА
2.	Возможность выбора параметров балансировки разбиения территории (количество пунктов назначения, объем груза, количество поездок, затраченное время)	ДА		
3.	Анализ сценариев	ДА		
4.	Автоматическая перестройка территорий	ДА		
5.	Создание планов на разные ситуации	ДА		
6.	Построение маршрутов, планирование (критерии: набор заказов для развозки, наличие транспортных средств, балансировка использования ресурсов, оговоренное время доставки, минимизация маршрутов и рабочего дня)	ДА	ДА (для одного транспортно-го средства)	ДА
7.	Формирование оптимальных схем загрузки товара в транспортное средство (формирование оптимальных вариантов загрузки / разгрузки ТС, уменьшение времени загрузки, сокращение процента повреждения груза при погрузке / разгрузке)	ДА (ориентирован на компании-дистрибьюторы напитков)		
8.	Контроль передвижения транспортных средств и персонала (с помощью GPS)	ДА	ДА	
9.	Учет отклонений от заданного маршрута	ДА		ДА
10.	Контроль выполнения заказов	ДА	ДА	
11.	Учет расхода ГСМ		ДА	
12.	On-line взаимодействие водителя с логистом		ДА	
13.	Сбор статистических данных о передвижении, времени, проводимом в пункте назначения	ДА		
14.	WEB-отчетность, удаленное оформление документов	ДА		ДА
15.	Мультимодальные перевозки (различные виды транспорта)		ДА	

Таблица 1.4 – Сравнение программного обеспечения в сфере складской логистики [43]

№ п/п	Критерий оценки	Информационные системы			
		«Первый БИТ»	E-SKLAD	Isolutions- Логистика	Solvo
1.	Формирование правил размещения товара на складе	ДА (Автоматически по статистике, накопленной по отгрузкам)		ДА	ДА
2.	Учет серий и сроков годности при размещении	ДА		ДА	ДА
3.	Контроль качества товара	ДА	ДА	ДА	ДА
4.	Оптимизация складских запасов за счёт перераспределения товара	ДА			ДА
5.	Оптимизация использования складских площадей	ДА	ДА (оптимизация изначального размещения товара на складе)	ДА	ДА (учет массо-габаритных характеристик упаковок товара)
6.	Получение актуальной информации об остатках товара на складе в разрезе адресов хранения	ДА	ДА	ДА	ДА
7.	Оптимизация маршрутов отбора товара по различным критериям (срок годности, партия, зона хранения и т.п.)			ДА	ДА
8.	Проведение инвентаризации без остановки работы склада	ДА		ДА	ДА

Как было показано выше, блок внутрипроизводственной (включая цеховую и межцеховую) логистики слабо представлен в ИС. Вместе с тем он имеет особое значение для промышленного производства. Например, решение задач формирования графиков литья и проката стали, порезки раската определяют эффективность сталелитейного производства. Организация производственной логистики позволяет оптимизировать временные затраты на основные, транспортные и складские операции, обеспечить непрерывность производственного процесса, синхронизировать производственные циклы, сократить выпуск бракованной продукции. Все это в комплексе обеспечивает гибкость производства и позволяет реализовать работу предприятия в соответствии с существующим и прогнозируемым на рынке спросом. Вместе с тем, специфика производственных процессов в каждой технологической цепочке определяет причины низкого уровня распространения соответствующих

информационных систем. Таким образом, логистические и организационные задачи управления предприятием отличаются большой разноплановостью. Сравнение функционала и возможностей программного обеспечения в сфере управления логистикой на предприятии показывает следующее [43]:

1. Большая часть разработок направлены на автоматизацию процессов (с помощью формирования баз данных и непрерывной актуализации информации). Решения на основе автоматизации позволяют сократить время, упростить обработку информации, обеспечить удобство ее хранения и поиска необходимых данных в любой момент времени.

2. Автоматизация является необходимым условием для перехода на следующую ступень управления процессами предприятия - оптимизацию на основе применения специальных методов. Использование методов оптимизации дает возможность формирования решения не только в текущей ситуации, но в различных сценариях развития, обеспечивает гибкое планирование, возможность быстрого принятия верных решений в меняющихся условиях.

3. Специфика и спектр логистических задач крупных предприятий (например, металлургических, машиностроительных) требует использования модульной системы, состоящей из следующих элементов: 1) конструктора моделей; 2) хранилища данных, содержащего как модельные данные, так и первичные данные предприятия о процессах, агрегатах, единицах продукции, транспортных средствах и т.д.; 3) оптимизатора или интеллектуального решателя, реализующего мультиагентное имитационное моделирование (имитационное моделирование с целью построения адекватных моделей технологических и логистических процессов, агентный подход - для формализации эвристик на элементах модели процесса).

**Мультиагентные системы планирования.** Одним из прикладных направлений мультиагентных технологий является планирование. Понятие **агент** соответствует аппаратно или программно реализованной сущности, которая способна действовать в интересах достижения целей, поставленных перед ней



владельцем и/или пользователем, и которая обладает определенными интеллектуальными способностями [25, 39-40, 117].

В [39] обсуждается пример применения мультиагентной системы для планирования работы гибкой производственной системы. К преимуществам обсуждаемой мультиагентной системы планирования отнесены следующие:

1) формализация точек принятия решений (сценариев обработки отдельных ситуаций) в виде агентов, что по сути своей относится к этапу формализации знаний;

2) планировщик "встраивается" динамично (работает в реальном времени) посредством взаимодействий (переговоров) между отдельными элементами мультиагентной системы (МАС) и тем самым готов изменять план в случае задержек или неожиданных (внештатных) ситуаций;

3) сеть агентов, связанная отношениями, самостоятельно координирует свои действия.

*Дополнительное преимущество от мультиагентного планирования - возможность автоматического информирования участников процесса об изменениях на объекте управления, что дает прозрачность управления. Таким образом, в процессе разработки и внедрения мультиагентной системы планирования происходит формализация знаний о предметной области и автоматизируется процесс принятия решений, тем самым облегчается деятельность, связанная с принятием решений.*

К наиболее значительным практическим результатам мультиагентного подхода можно отнести развитие и применение на практике аппарата сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) [20, 30]. Данный подход придерживается "классического" понимания мультиагентной системы и ориентирован на решение задач в вычислительных сетях.

Аппарат ПВ-сетей разработанный В.А.Виттихом и П.О.Скобелевым программно реализован в виде технологии MAGENTA, которая нашла применение в семействе прикладных интеллектуальных систем планирования для следующих объектов [20]: предприятия, управляющего океанским танкерным

флотом; транспортного предприятия, занимающегося перевозками грузов; организации, деятельность которого связана с управлением проектами. Также система MAGENTA использовалась в следующих областях [34]: е-коммерции (продажа авиабилетов и сопутствующих услуг, Интернет-магазин); извлечения знаний из данных.

В [21] П.О. Скобелев относит технологию MAGENTA к первому поколению мультиагентных платформ и освещает результаты разработки мультиагентной платформы второго поколения. К особенностям мультиагентной платформы второго поколения относится управление "флотилией мобильных ресурсов, имеющих GPS / ГЛОНАСС датчики на борту", а также что часть платформы развернута у водителя на мобильном устройстве. Преимущества мультиагентной системы второго поколения в [21] иллюстрируется на примере задачи управления грузовиками для Европейской транспортной сети и говорится, что нет систем-аналогов способных "консолидировать грузы, адаптировать маршруты, планировать поездки и назначать грузовики на основе потока событий, таких как поступление нового заказа или изменение доступности ресурсов".

Концептуальный подход к проектированию аналогичной мультиагентной системы транспортной логистики грузоперевозок изложен в [42].

В России значительные результаты в исследовании МАС получены В.И.Городецким при решении следующих задач [119-121]: управление взаимодействием в P2P-сетях; автономное управление воздушным движением; управление ресурсами грид; самоконфигурации оверлейных сетей; автономные операции подводных роботов.

В МАС эффективно может применяться подход ситуационного управления, развитый отечественными авторами Д.А. Поспеловым [114-115], Ю.И. Клыковым [111-113]. Клыков Ю.И. представил результаты применения данного подхода для нефтегазовой отрасли. Позднее интеграцией методов ситуационного, экспертного и имитационного моделирования занимался А.Ю. Филиппович [109-110]. Разработке СППР на основе мультиагентного подхода и экспертных систем, посвящена работа А.Н. Швецова [118].

К одному из требований к мультиагентной платформы планирования относится поддержка полного цикла управления, состоящего из таких этапов[21]:

**1) реакция на событие** (дискретно-событийное управление). В реальном времени поступают события (заказы, задержки, поломки и т.д.), которые нужно планировать, учитывать текущие планы, индивидуальные предпочтения и ограничения ресурсов и заказов;

**2) динамическое планирование** (перепланирование / диспетчеризация);

**3) согласование и пересмотр планов "на лету"** (изменения вносятся в планы ресурсов без останова и перезапуска программной системы, путем корректировки расписания "на лету", с использованием как свободных окон, так и смещением и перестановкой ранее распределенных заказов (адаптивно); в случае расхождения плана и факта требуется автоматическое перепланирование и согласование с пользователем);

**4) мониторинг и контроль исполнения планов.**

Успешность внедрения систем планирования связано с фактором "доверия" пользователя (специалиста по логистике или диспетчера), на плечах которого лежит ответственная задача планирования и управления грузоперевозками. Доверие конечного пользователя можно обеспечить возможностью вмешаться в работу системы и внести корректирующие воздействия. Задача планирования является сложной, часть событий, ситуаций или параметров задачи могут быть не учтены в процессе разработки интеллектуальной системы планирования. Таким образом, к дополнительным требованиям системы планирования можно отнести следующие:

1) согласование планов в ходе диалога с пользователем;

2) ручная корректировка плана, включая ручное планирование.

**Применение систем имитационного моделирования для задач логистики.** Комплекс имитационных моделей для задач управления парком техники и перевозками реализован в среде ИМ *AnyLogic* [1].

В качестве средства имитационного моделирования также могут быть использованы следующие системы:

- система имитационного моделирования Simio [2];
- системы моделирования бизнес-процессов Business Studio и ARIS;
- динамическая экспертная система G2 с модулем имитационного моделирования ReThink;
- комплекс семейства BPsim, состоящий из системы динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS и системы поддержки принятия решений BPsim.DSS [3-4];

**Современное состояние систем имитационного моделирования.** Одной из основных задач корпоративной информационной системы (КИС, под этим термином подразумевается совокупность всех информационных систем (ИС) и их модулей, используемых на предприятии) - это сбор информации, генерируемой и используемой различными подразделениям и сотрудниками, формируемой различными модулями и подсистемами. Т.е. создание общего информационного пространства предприятия, в идеале охватывающего всю корпоративную информацию. За последние десятилетия существенно расширилась область применимости систем имитационного моделирования (СИМ):

*Во-первых,* системы имитационного моделирования или программные имитационные модели встраиваются в контур управления предприятием или организацией, интегрируются через интерфейсы обмена данными с датчиками, контроллерами, корпоративной информационной системой и тем самым получают данные о текущей ситуации на объекте управления.

*Во-вторых,* большинство СИМ в процессе имитационного эксперимента позволяют изменять/обновлять исходные данные и адаптировать решение исходя из ситуации.

*В третьих,* в большинстве прикладных систем поддержки принятия решений, использующих подсистему имитационного моделирования или имитационную модель, для формализации знаний лиц, принимающих решения (ЛПР), и алгоритмов управления используются подсистемы оптимизации или улучшения решений на основе эвристик.

О таких проектах внедрения гибридных СППР (интегрирующих имитационную модель и блок эвристик или оптимизации) для задач логистики, управления производством и строительства говорится в [36-38, 67-73]). Таким образом, можно говорить об **открытых интегрируемых модулях/системах имитационного моделирования**. Также необходимо отметить активное применение в системах поддержки принятия решений элементов экспертных систем (баз знаний (БЗ) и машин логического вывода (МЛВ)) и онтологий.

Рассмотрим различные методики организации потоков обработки информации и управления процессами предприятия с использованием в контуре управления имитационной модели (ИМ).

Согласно исследованию Robertson N., Perera T. [35] представлены 4 типа интеграции СИМ и КИС предприятий (рисунок 1.2):

А) Ручная настройка модели - исторически появилась первой и до настоящего времени преобладает при создании ИМ в различных моделях. Система моделирования функционирует обособлено от других ИС предприятия (если таковые имеются). Данные хранятся в «личной» для системы моделирования БД, не используемой другими ИС;

В) Настройка через приложение. При настройке ИМ через приложение чаще всего используется электронные таблицы; вычисления в таблицах производятся автоматически по мере ввода данных в ячейки. Например, MS Excel, QuattroPro, OpenOffice, Calc. Данные ИМ также хранятся в БД, но имеется возможность импорта из приложения;

С) Связь ИМ с КИС - в этом случае предприятие уже использует КИС, в которой формируются данные, используемые системой моделирования. Система моделирования должна обладать функционалом интеграции с распространенными БД. Данные переносятся из КИС в БД системы ИМ;

Д) Взаимодействие «напрямую» - наиболее перспективная схема, к которой следует стремиться. Особенностью является не только использование данных ИМ КИС, но и параметры КИС меняются в зависимости от результатов моделирования.

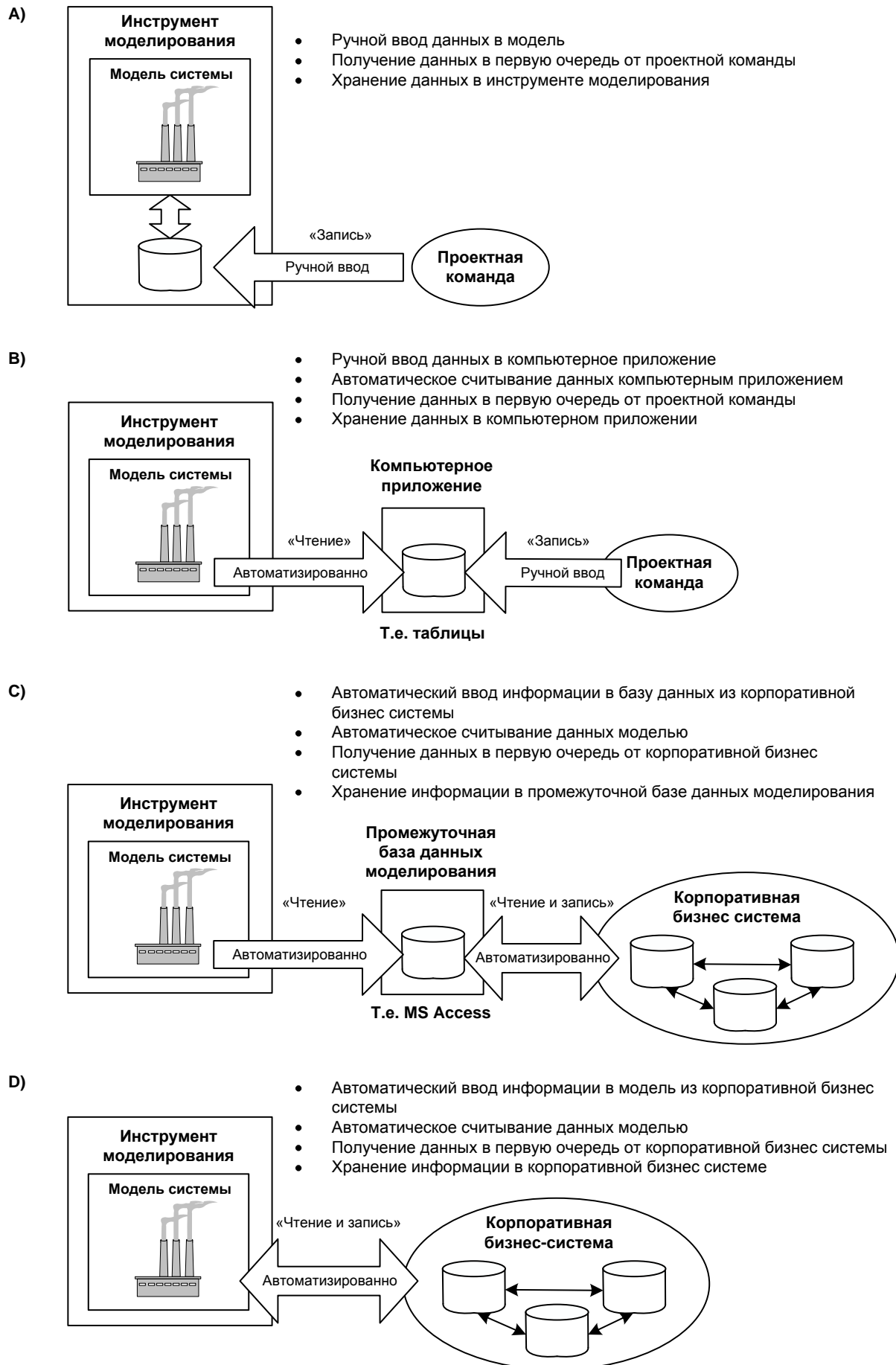


Рисунок 1.2. Методики управления процессом ввода данных в модель

Система Business Studio. Основные решаемые задачи [26]:

- формализация стратегии и контроль ее достижения;
- проектирование и оптимизация бизнес-процессов;
- проектирование организационной структуры и штатного расписания;
- формирование и распространение среди сотрудников регламентирующей документации;
- внедрение системы менеджмента качества в соответствии со стандартами ISO;
- формирование технических заданий и поддержка внедрения информационных систем.

Основная направленность системы Business Studio (BS) - формализация и моделирование бизнес-процессов, а также автоматизация бизнес-процессов до уровня прописывания целей и задач каждого сотрудника, определение задач и их оценка, с целью мотивации. В качестве графических нотаций формализации моделей используются следующие [27]: IDEF0, Процедура (Cross Functional Flowchart), BPMN 2.0, Процесс (Basic Flowchart), EPC (Event Driven Process Chain). К основным инструментам формализации целей организации, бизнес-процессов и деятельности каждого сотрудника относятся следующие: стратегия; ключевые показатели деятельности (англ. Key Performance Indicators (KPI)); бизнес-процессы; система сбалансированных показателей (ССП, англ. Balanced Score Card, BSC); организационная структура; должностные инструкции; функционально-стоимостной анализ; система менеджмента качества и имитационное моделирование. Опыт применения имитационного моделирования в Business Studio представлен в следующих работах: 1) для задачи складской логистики в [28]; 2) рекомендации для анализа бизнес-процессов [29].

Мультиагентный подход также нашел свое развитие в имитационном моделировании. Так система имитационного моделирования AnyLogic поддерживает моделирование реактивных агентов [31]. Для формализации поведения агентов в AnyLogic используются диаграммы состояний (State Chart)

расширения UML-RT. В [32] показана возможность реализации мультиагентной системы с использованием динамической экспертной системы G2 [33], которая в своем составе содержит подсистему имитационного моделирования ReThink.

В контексте имитационного моделирования происходит трансформация понятия агента в направлении уменьшения значимости свойств коммуникации (на уровне сетевых протоколов) и возможности перемещения по сети в сторону интеллектуальности (учет большего объема данных и знаний, сложности реализации машины логического вывода – как это развивается в системах G2 и BPsim) и социальности (моделирования социального поведения, внутренних убеждений, намерений и целей агентов).

Проведем анализ существующих систем ИМ. В настоящее время коммерческие продукты, представленные на рынке (AnyLogic, ARIS, G2), являются Desktop-приложениями. СИМ ARIS позволяет формировать html-страницы с результатами экспериментов и выгружать в Интернет. Система AnyLogic способна компилировать java-апплеты с разработанными моделями и размещать их в сети. Для начала работы с моделью необходимо выполнить ее полную загрузку на электронное устройство пользователя, проигрывание имитационного эксперимента апплета модели происходит на устройстве пользователя и требует существенных вычислительных ресурсов [15].

В работах Девяткова В.В. [122-125] представлены результаты применения технологий облачных вычислений применительно к СИМ GPSS World. Усовершенствованная система активно применялась для задач анализа и совершенствования транспортных систем.

Перечисленные в таблице 1.5 комплексы программ обладают рядом недостатков, которые ограничивают или исключают возможность их применения при решении задачи проектирования системы планирования и управления грузоперевозками: рассмотренные системы предметно не ориентированы на решаемую задачу, нет возможности корректировки и согласования плана с пользователем (в случае системы Magenta); при планировании маршрута не учитываются знания предметных специалистов (в случае систем ARIS, AnyLogic,



Business Studio); не решается задача частичной корректировки перепланирования маршрута транспортного средства в случае появления нового заказа (в случае системы Magenta план будет пересмотрен полностью). Наибольшие возможности для программной реализации метода планирования грузоперевозок (развоза топлива) дает семейство СППР BPsim и Magenta.

Таблица 1.5 - Сравнительный анализ имитационных и мультиагентных систем, применяемых в логистике

№	Параметр	G2	AnyLogic	Magenta	BPsim	ARIS	BS
1	Проектирование структуры концептуальной модели (онтологии) / наполнение знаниями данными (загрузка гео-данных, правила управления)	нет /+	нет/+	+/+	+/+	+/нет	нет/нет
2	Описание процессов						
2.1	Ресурсы, средства, преобразователи	+/+/+	+/+/+	+/+/+	+/+/+	+/+/+	+/+/+
2.2	Иерархическая модель процесса	+	+	нет	+	+	+
2.3	Агенты	нет	+	+	+	нет	Нет
3	Блок эвристик	+	нет	+	+	нет	Нет
4	Полный цикл управления						
4.1	Реакция на внешнее событие с объекта управления	+	нет	+	+	нет	нет
4.2	Динамическое планирование	+	нет	+	+	нет	нет
4.3	Диспетчеризация (перепланирование)	+	нет	+	+	нет	нет
4.4	Согласование и пересмотр планов "на лету"	нет	нет	+	+	нет	нет
4.5	Мониторинг и контроль исполнения плана	+	нет	+	нет	нет	нет
4.6	Согласование планов с пользователем	нет	нет	нет	+	нет	нет
4.7	Ручная корректировка плана	нет	нет	нет	+	нет	нет
5	Интерфейс предметного специалиста (диспетчера)	нет	нет	+	+	нет	нет

### ***1.5. Специфика цепей поставок сетей автозаправочных станций***

В разделе рассмотрена специфика цепей поставок сетей автозаправочных станций и компаний, осуществляющих поставки нефтепродуктов.

Транспортная система компании по обеспечению нефтепродуктов содержит следующие компоненты:

- 1) автозаправочные станции (АЗС, автоматические АЗС (ААЗС));
- 2) парк бензовозов (свои и наёмные бензовозы);
- 3) нефтебазы (НБ, свои и/или чужие, с которыми заключены договора по обеспечению ГСМ);
- 4) список маршрутов перемещения бензовозов от нефтебаз к АЗС;
- 5) список реализуемых компанией видов топлива.

Компании по обеспечению нефтепродуктов могут иметь в распоряжении свои нефтебазы или пользоваться услугами других. Стоимость закупки нефтепродуктов на сторонних нефтебазах выше, чем на собственной нефтебазе компании, но привлечение сторонних нефтебаз требуется по следующим причинам:

- ряд АЗС компании находится на значительном удаленном расстоянии от своих нефтебаз, так что компании выгоднее закупать топливо на более близких к данным АЗС топливных складах;
- некоторые виды топлива, реализуемые на АЗС компании, отсутствуют на своих нефтебазах, поэтому компании требуются дополнительные источники топлива для обеспечения сети;
- в силу сложности процесса снабжения нефтебаз (перебои в поставках с нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и непредсказуемость графика транспортировки на железной дороге), а также рассогласования в динамике потребления топлива на сети АЗС и объемов поставок на свои нефтебазы с НПЗ жизненно необходимо малым и средним сетям АЗС взаимодействовать

с нефтебазами более крупных игроков (чаще всего это вертикально-интегрированные нефтяные компании (ВИНКи)).

Парк бензовозов компании может содержать собственные транспортные средства или для решения своих задач привлекать наёмные бензовозы (фрилансеры). Бензовозы имеют различные емкости автоцистерны и нормы расхода топлива. Каждый бензовоз, в зависимости от марки, имеет в составе автоцистерны несколько секций и может перевозить от 1 до 6 видов различного топлива (количество секций у небольших и средних компаний варьируется от 1 до 3, однако крупные сети и ВИНКи также используют 6-ти секционные бензовозы).

Перечисленные в разделах 1.2 - 1.4 комплексы программ обладают рядом недостатков, которые ограничивают или исключают возможность их применения при решении задачи проектирования системы управления грузоперевозками:

- 1) не решается задача перепланирования загрузки транспортного средства (в случае прихода нового заказа);
- 2) при планировании маршрута не учитываются знания специалистов;
- 3) не решается задача перепланирования маршрута транспортного средства в случае появления нового заказа.

Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных проблемно-ориентированных систем анализа и моделирования, планирования процессов логистики: AnyLogic, ARIS, BS, G2, Magenta, BPsim. Ни одна из рассмотренных систем не отвечает всем требованиям. Наибольшие возможности для программной реализации метода планирования для снабжения нефтепродуктами дает семейство СППР BPsim и Magenta.

В настоящее время на рынке представлена система "Лексема" [94-95], используемая для задачи планирования и учета движения горюче-смазочных материалов (ГСМ), однако функционал данной системы больше относится к ERP-системе. К недостаткам системы "Лексема" можно отнести следующее:

- 1) поддержка только ручного планирования;
- 2) отсутствие данных о расстояниях между объектами сети АЗС;

3) нет возможности учета знаний предметных специалистов (о физических и технических ограничениях объектов сети (АЗС, НБ) и транспортных средствах (бензовозах);

4) отсутствие каких-либо средств анализа "что, если".

В таблице 1.6 представлены результаты анализа методов организации и планирования работы АЗС.

В результате проведенного сравнения средств и методов планирования, анализа и моделирования процессов логистики показано, что существующие программные средства и методы не ориентированы на решение задачи планирования обеспечения нефтепродуктами сети АЗС с учетом их активного развития. За последнее десятилетие активно идет автоматизация сетей АЗС, которая дает возможность доступа к данным в реальном масштабе времени, что позволяет иначе и с новыми подходами взглянуть на решение задачи планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС. За основу такого подхода предлагается использовать мультиагентное имитационное моделирование.

Преимуществами методов имитационного моделирования являются: комплексность решения, возможность учета различных стохастических и случайных факторов, учет знаний предметных специалистов, составления базы решений, учет динамики процессов, возможность интеграции с эвристическими и численными методами оптимизации. Преимуществами методов имитационного моделирования является высокая ресурсоемкость постановки экспериментов.

Использование мультиагентного имитационного моделирования позволяет определить влияние различных факторов на результат решения задач, в том числе тех, которые затруднительно учесть с использованием отдельных методов решения каждой подзадачи или этапа решения задачи.

Таблица 1.6. Анализ методов организации и планирования работы АЗС

Название метода, автор	Описание задачи	Достоинства	Недостатки
Метод планировочных решений, Плитман И.Б. [104].	Максимизация пропускной способности АЗС. Параметры: число топливораздаточных колонок (ТРК), коэффициент одновременной заправки, время подготовки и отпуска нефтепродуктов, длина подъездных путей.	Простота реализации	Основной результат – отражение предельных возможностей АЗС
Вероятностно-статистическая модель структуры топливораздаточного оборудования на АЗС, Коваленко В.Г., Кантор Ф.М., Хабаров С.Р. [100].	Минимизация времени ожидания автомобилей в очереди и числа незанятых ТРК. Допущения: ТРК обслуживает только одну заявку (автомобиль), заявка при свободном канале обслуживания сразу обрабатывается.	Применение вероятностного подхода, определение характеристик для сравнения АЗС	Отсутствие учета характеристик ТРК
Схема развития сети АЗС, Прохоров А.Д., Доронин В.В., Хабаров А.С. [103].	Размещение АЗС на городских автомагистралях по критерию равноудаленности от существующих АЗС.	Принятие решения с учетом годовой реализации, численности автотранспорта в зоне обслуживания и экономического эффекта.	Неполная определенность понятия «зона обслуживания»
Модель потокопроводящей сети АЗС, Прохоров А.Д., Цагарели Д.В., Глухарев К.К., Дьяченко И.В., Мигдалов В.Н. [101-102].	Цель управления – реализация необходимых объемов нефтепродуктов через сеть АЗС и нефтебаз при минимальных сетевых объемах и в минимальные периоды сетевого оборота. Переменные: характеристики потоков ресурсов в транспортных плечах и узлах сети.	Факт того, что избыточность сети АЗС порождается недостатком данных, поэтому требуется мониторинг ее состояния	Потоки нефтепродуктов и автомобилей приняты однородными и стационарными
Рациональное размещение сети АЗС, повышение эффективности АЗС. Безродный А.А. [105]	Рациональное размещение сети АЗС. Параметры: граф сети АЗС, граф улично-дорожной сети; доход и издержки сети АЗС. Моделирование движения автотранспорта по графу улично-дорожной сети (УДС). Рекомендации по определению параметров АЗС, типу АЗС, количеству ТРК.	Ориентация на результаты на недоминирующей (немонопольной) сети АЗС в малых и средних (от 150 тыс. до 1,5 млн. человек) городах России. Детальная, но сложная модель.	Сбор данных о сетях АЗС конкурентов и интенсивности потоков УДС затруднен. Учет объема продаж только для юр.лиц, обслуживаемых микропроцессорными картами. Нет решения для мегаполисов. ИМ в SCADA-системе Trace-Mode.

### ***1.6. Постановка задачи диссертационного исследования***

Проблема исследования и разработки моделей, методов и программных средств планирования, анализа и моделирования логистического процесса развоза топлива по сети автозаправочных станций в настоящее время находится в стадии развития. Об актуальности исследования, разработки и внедрения методов планирования логистических цепей говорится в работах Безродного А.А., Борщева А.В., Клыкова Ю.И., Прохорова А.Д., Скобелева П.О., а также в работах зарубежных авторов Парунак Х.Д., Jennings N.R., Wooldridge M.J.

Требуют дальнейшего исследования и разработки такие вопросы как:

1. Создание метода принятия решений для задачи нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций.
2. Реализация проблемно-ориентированных инструментальных средств планирования, анализа и моделирования логистического процесса нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций, поддерживающих полный жизненный цикл разработки и отладки моделей и проведения экспериментов.

## 2. Разработка гибридного метода принятия решений для планирования нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций (АЗС)

### 2.1. Постановка задачи на разработку метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС

Общая задача планирования процесса снабжения логистической сети заключается в определении плана снабжения до начала рабочей смены множества структур вида  $S_i = \langle A3C_j^k(V_k), HB_l^n M_p, B_q^m, T_{i0}, T_{i1} \rangle$ , где  $A3C_j^k$  -  $j$ -ая АЗС,  $k$  - индекс емкости;  $V_k$  - объем поставки топлива в емкость АЗС;  $HB$  - нефтебаза ( $l$ -индекс нефтебазы,  $n$  - индекс емкости на нефтебазе);  $M_p$  - маршрут  $p$ -й перевозки,  $B_q^m$  - бензовоз ( $q$ -индекс бензовоза,  $m$  - индекс емкости бензовоза), осуществляющий  $i$ -ю перевозку,  $T_{i0}$  - время начала и  $T_{i1}$  -окончания выполнения  $i$ -й перевозки, эффективных по критерию суммарных расходов на  $i$ -ю перевозку  $C_i = \sum C_{ij}$ , где  $C_{i1}$  - стоимость перевозки по маршруту  $M_i$ ;  $C_{i2}$  - величина упущенной прибыли во время очередей на логистических центрах;  $C_{i3}$  - расходы на погрузку и разгрузку логистических складов  $C_{i4}$  и другие расходы при осуществлении  $i$ -й перевозки.

Организация системы перевозок является сложной задачей, которая фактически сводится к долгосрочному и краткосрочному планированию (в частности, составлению расписаний) перевозок, а также оперативному управлению транспортными средствами и решению задачи диспетчеризации. Выделены следующие требования к методу развоза топлива:

- 1) динамическое моделирование процессов логистической цепи:
  - различные типы ресурсов, заявки, очереди заявок, конфликты на ресурсах;
  - учет времени, расстояний;
  - анализ узких мест.
- 2) составление плана перевозок:
  - распределение заказов по транспортным средствам;

- учет предпочтений (эвристик) диспетчеров и специалистов по логистике;
- 3) поддержка полного цикла управления:
- реакция на внешнее событие;
- планирование / диспетчеризация.

Анализ существующих методов решения задачи проводится в следующем разделе.

## ***2.2. Анализ существующих методов планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС***

Наиболее близкими методами решения задачи планирования для снабжения нефтепродуктами сети АЗС являются следующие:

- 1) транспортная задача;
- 2) подход В.А.Виттиха и П.О. Скобелева на основе сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей);
- 3) мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов.

### **2.2.1. Анализ применимости транспортной задачи**

**Анализ применимости транспортной задачи.** Задача планирования развоза топлива сводится к классической транспортной задаче. Транспортная задача (задача Монжа-Канторовича) - математическая задача линейного программирования специального вида о поиске оптимального распределения однородных объектов из аккумулятора к приемникам с минимизацией затрат на перемещение [85, 118].

Существуют поставщики и потребители некоторого однородного груза. У каждого поставщика имеется определенное количество единиц этого груза



(мощность поставщика). Каждому потребителю нужно некоторое количество единиц этого груза (спрос потребителя). Известны затраты на перевозку единицы груза от каждого из поставщиков к каждому из потребителей. Цель транспортной задачи – составить такой план перевозок, при котором:

- 1) суммарные затраты на перевозку груза будут минимальны;
- 2) по возможности будут задействованы все мощности поставщиков;
- 3) по возможности будет удовлетворен весь спрос потребителей.

Закрытая модель транспортной задачи – это модель, в которой суммарная мощность поставщиков равна суммарному спросу потребителей. В противном случае модель называется открытой [86, с. 50]. *В силу того, что в большинстве случаев объем топлива на нефтебазах превышает объем потребностей на АЗС, а в редких случаях наблюдается недостаток топлива, то данная задача с неправильным балансом.*

В процессе решения открытая модель сводится к закрытой.

Известны следующие алгоритмы решения транспортной задачи:

- 1) жадный алгоритм;
- 2) метод северо-западного угла;
- 3) метод минимальной стоимости;
- 4) распределительный метод и т.д.

Рассмотрим основные алгоритмы решения закрытой модели задачи на примерах перевозки топлива.

**Метод северо-западного угла.** У поставщиков  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  сосредоточено 5960, 4440, 6010 и 4420 литров некоторого топлива, который необходимо доставить потребителям  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  в желаемом количестве 6000, 10500, 4330 литров. Классический параметр в транспортной задаче «стоимость» определяется

через приоритет перевозки и задается матрицей:  $P = \begin{pmatrix} 2,1 & 2 & 2 \\ 1 & 2,5 & 1 \\ 1 & 2,8 & 2 \\ 2,8 & 2,1 & 1 \end{pmatrix}$ . Исходные

данные представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Исходная таблица для метода северо-западного угла

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки		
5960	2,1	2	2
4440	1	2,5	1
6010	1	2,8	2
4420	2,8	2,1	1

Северо-западный угол таблицы – это её левый верхний угол, т.е. клетка (1,1). Поэтому рассмотрим 1-го поставщика и 1-го потребителя. У поставщика  $A_1$  есть 5960 литров топлива, а потребителю  $A_1$  нужно 6000 литров. Находим минимум из этих двух чисел:  $\min(5960, 6000) = 5960$ . В клетке (1,1) записывается найденный минимум 5960. Это означает, что  $A_1$  должен поставить потребителю  $B_1$  5960 литров топлива.

Так как поставщик  $A_1$  израсходовал все свои 5960 литров топлива, то мы исключаем его из рассмотрения. Поэтому все остальные клетки 1-й строки в дальнейшем не рассматриваются и называются пустыми.

Таблица примет вид (таблица 2.2):

Таблица 2.2 - Таблица после рассмотрения клетки (1,1)

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/ 5960	2/	2/
4440	1	2,5	1
6010	1	2,8	2
4420	2,8	2,1	1

Следующий северо-западный угол этой таблицы – это клетка (2,1). Поэтому рассмотрим 2-го поставщика и 1-го потребителя аналогичным образом. Мощность поставщика  $A_2$  равна 4440 литров. Спрос потребителя  $B_1$  – 6000 литров. Но 5960

литров он получил от поставщика  $A_1$ , поэтому непокрытый спрос потребителя  $B_1$  равен  $6000 - 5960 = 40$ . Находим минимум  $\min(4440, 40) = 40$ . В клетку (2,1) записывается найденный минимум 40. Спрос потребителя  $B_1$  покрыт, следовательно, оставшиеся клетки 1-ого столбца отмечаются как пустые, как показано в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Таблица рассмотрения клетки (2,1)

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/ 5960	2/	2/
4440	1/40	2,5	1
6010	1/	2,8	2
4420	2,8/	2,1	1

Аналогичным образом заполняются оставшиеся клетки. Результат работы алгоритма представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Результат работы метода северо-западного угла

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/ 5960	2/	2/
4440	1/40	2,5/4400	1/
6010	1/	2,8/6010	2/
4420	2,8/	2,1/90	1/4330

### Метод минимальной стоимости

Метод минимальной стоимости заключается в том, чтобы на каждом шаге выбиралась поставка с наименьшим приоритетом (стоимостью) перевозки единицы груза среди всех незаполненных клеток. Для примера возьмем ту же матрицу  $P$ . Исходная таблица для данного метода приведена в таблице 2.1.

Среди всех незаполненных клеток у клеток (2,1), (3,1), (2,4) и (4,4)

наименьшие значения, поэтому делаем поставку в одну из этих клеток. Находим минимумы в этих клетках: для клетки (2,1) -  $\min(6000, 4440) = 4440$ , для клетки (3,1) -  $\min(6000, 6010) = 6000$ , для клетки (2,4) -  $\min(4330, 4440) = 4330$ , для клетки (4,4) -  $\min(4330, 4420) = 4330$ . Выбираем ту клетку, куда можно сделать наибольшую поставку. На этом этапе поставщик  $A_3$  израсходовал свои 6000 литров топлива, следовательно, осталось 10 литров. Спрос потребителя  $B_1$  покрыт – клетки 1-ого столбца остаются пустыми. Результат первой итерации представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Метод минимальной стоимости после рассмотрения первой клетки

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/	2	2
4440	1/	2,5	1
6010	1/6000	2,8	2
4420	2,8/	2,1	1

Далее рассмотрим клетку из оставшихся пустых с наименьшим значением. Наибольшую поставку можно сделать в клетку (2,3) и в клетку (4,3). Добавим поставку от поставщика  $A_2$  -  $\min(4330, 4420) = 4330$ . Аналогичные действия осуществляются с остальными клетками. Результат работы алгоритма представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Результат работы метода минимальной стоимости

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/	2/5960	2/
4440	1/	2,5/110	1/4330
6010	1/6000	2,8/10	2/
4420	2,8/	2,1/4420	1/

### Распределительный метод

Сначала с помощью одного из вышеприведенных методов находится первоначальный план поставок, а затем распределительным методом проверяется, является ли найденный план оптимальным и, если нет, то, как его оптимизировать. Для этого составляется матрица оценок.

Оценка клетки  $(i,j)$  в матрице оценок вычисляется по следующему правилу: оценка  $i$ -й строки + оценка  $j$ -го столбца + число в левом верхнем углу клетки  $(i,j)$ . Оценки строки и столбца выбираются таким образом, чтобы оценки всех отмеченных клеток были равны нулю.

После этого оценки всех клеток записываются в виде матрицы оценок. Если матрица не содержит отрицательных чисел, то получен оптимальный план поставок. Иначе проводится оптимизация.

В общем виде оптимизация выглядит следующим образом. Двигаясь из клетки с отрицательной оценкой по отмеченным клеткам (причем запрещается делать два последовательных шага в одной строке или в одном столбце и запрещается двигаться по диагонали), строят так называемый цикл пересчета. Внутри этого цикла перераспределяют поставки. Для полученной таблицы находят матрицу оценок и т. д. Рассмотрим этот метод на конкретном примере плана поставок, полученном с помощью метода северо-западного угла (см. таблицу 2.4).

Сначала нужно найти оценки строк и столбцов. Начинать можно с любой строки или любого столбца. Начнем с 1-ого столбца, приписав ему ноль (на 1-м шаге можно приписать любую оценку). В 1-ом столбце находятся две отмеченные клетки  $(1,1)$  и  $(2,1)$ . Суммарные оценки со столбцом должны быть нулевыми. Из этого условия, найдем оценки 1-ой и 2-ой строки. Данный шаг представлен в таблице 2.7. Зная оценки 1-ой и 2-ой строки, можно выяснить оценки 2-ого и 3-его столбцов, а затем и 2-ой и 3-ей строк, итоговые оценки представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.7 - Таблица после рассмотрения первых сумм

Объем секций,  л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/ 5960	2/	2/	-2,1
4440	1/40	2,5/4400	1/	-1
6010	1/	2,8/6010	2/	
4420	2,8/	2,1/90	1/4330	
Оценка	0			

Таблица 2.8 - Итоговые оценки для метода минимальной стоимости

Объем секций,  л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/ 5960	2/	2/	-2,1
4440	1/40	2,5/4400	1/	-1
6010	1/	2,8/6010	2/	-1,3
4420	2,8/	2,1/90	1/4330	-0,6
Оценка	0	-1,5	-0,4	

В матрице оценок в клетки, в которых предусмотрены поставки, записывается 0. Оценка остальных клеток вычисляется как сумма оценок строки, столбца и числа, записанного в клетке (в данном примере количество дней бесперебойной работы без привоза топлива). Так для клетки (3,1) оценка вычисляется следующим образом:  $-1,3 + 0 + 1 = -0,3$ .

Получаем следующую матрицу оценок:  $O = \begin{pmatrix} 0 & -1,6 & -0,5 \\ 0 & 0 & -0,4 \\ -0,3 & 0 & -0,3 \\ 2,2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ .

Так как матрица оценок содержит отрицательные числа, полученный план поставок методом северо-западного угла является неоптимальным. Проведем его оптимизацию. Выбираем клетку с наименьшей оценкой. Это клетка (1,2). Оценка

клетки равна -1,6. Для того чтобы построить цикл пересчета нужно, двигаясь только по нулевым клеткам в матрице, вернуться в стартовую клетку. Для приведенного примера подходит цикл (1,2) – (1,1) - (2,1) - (2,2) - (1,2). Стартовой клетке (1,2) присваивается «+», далее знаки чередуются. В таблице 2.9 указаны знаки и объем привезенного топлива.

Таблица 2.9 – Цикл пересчета

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	объем перевозки, л		
5960	-/ 5960	+	
4440	+/-40	-/4400	
6010			
4420			

Среди поставок в клетках со знаком «-» найдем минимальную поставку:  $\min(5960, 4400) = 4400$ . После этого в клетках со знаком «-» уменьшим поставки на этот минимум, а в клетках со знаком «+» увеличим на данное число. В клетке (1,2) появляется поставка. Новый план развоза приведен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - План развоза после первого цикла оптимизации

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/ 1560	2/4400	2/
4440	1/4440	2,5/	1/
6010	1/	2,8/6010	2/
4420	2,8/	2,1/90	1/4330

Для полученного плана развоза находим матрицу оценок (таблица 2.11).

Таблица 2.11 - Оценки для нового плана развоза после первого цикла оптимизации

Объем секций,  л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/ 1560	2/4400	2/	-2,1
4440	1/4440	2,5/	1/	-1
6010	1/	2,8/6010	2/	-2,9
4420	2,8/	2,1/90	1/4330	-2,2
Оценка	0	0,1	1,2	

Матрица оценок для нового плана развоза после первого цикла оптимизации:

$$O = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1,1 \\ 0 & 1,6 & 1,2 \\ -1,9 & 0 & 0,3 \\ 0,6 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

План является неоптимальным, так как оценка (3,1) меньше нуля. Необходимо построить для нее цикл пересчета: (3,1) – (1,1) – (1,2) – (3,2) – (3,1). Повторяются аналогичные действия, результаты с новыми оценками представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Оценки для нового плана развоза после второго цикла оптимизации

Объем секций,  л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/	2/5960	2/	-0,2
4440	1/4440	2,5/	1/	-1
6010	1/1560	2,8/4450	2/	-1
4420	2,8/	2,1/90	1/4330	-0,3
Оценка	0	-1,8	-0,7	



Матрица оценок для нового плана развоза после второго цикла оптимизации:

$$O = \begin{pmatrix} 1,9 & 0 & 1,1 \\ 0 & -0,3 & -0,7 \\ 0 & 0 & 0,3 \\ 2,5 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

План является неоптимальным, так как есть оценка меньше нуля. Построенный цикл пересчета для оценки (2,3): (2,3) – (4,3) – (4,2) – (3,2) – (3,1) – (2,1) – (2,3). Повторяются аналогичные действия, результаты с новыми оценками представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 - Оценки для нового плана развоза после третьего цикла оптимизации

Объем секций,  л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/	2/5960	2/	-0,2
4440	1/110	2,5/	1/4330	-1
6010	1/5890	2,8/120	2/	-1
4420	2,8/	2,1/4420	1/	-0,3
Оценка	0	-1,8	0	

Матрица оценок для нового плана развоза после третьего цикла

оптимизации:  $O = \begin{pmatrix} 1,9 & 0 & 1,8 \\ 0 & -0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2,5 & 0 & 0,7 \end{pmatrix}.$

План является неоптимальным, так как оценка (2,2) меньше нуля. Цикл пересчета для оценки (2,2): (2,2) – (3,2) – (3,1) – (2,1) – (2,2). Результаты четвертого цикла оптимизации с новыми оценками представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 - Оценки для нового плана развоза после четвертого цикла оптимизации

Объем секций,  л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/	2/5960	2/	-0,2
4440	1/	2,5/110	1/4330	-1
6010	1/6000	2,8/10	2/	-1
4420	2,8/	2,1/4420	1/	-0,3
Оценка	0	-1,8	0	

Матрица оценок после четвертого цикла оптимизации:  $O = \begin{pmatrix} 1,9 & 0 & 1,8 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2,5 & 0 & 0,7 \end{pmatrix}$ .

План является оптимальным, так как все оценки больше нуля.

Анализ работы алгоритмов решения транспортной задачи, позволяет сделать вывод о том, что наиболее быстрым алгоритмом является метод минимальной стоимости, а наиболее точным – распределительный. Данные подходы будут рассмотрены для создания алгоритма планирования развоза топлива.

### **Использование надстройки «Поиск решения» MS EXCEL**

В MS EXCEL существует надстройка «Поиск решения», которая позволяет продемонстрировать переборный алгоритм решения транспортной задачи. В основе данного алгоритма лежит функция, значение которой сводится к минимальному.

Рассмотрим работу надстройки для решения задачи нахождения оптимального плана развоза топлива.

В ходе исследования планирования развоза топлива были проанализированы отчеты, предоставленные Единым диспетчерским центром ООО "Башнефть-Розница" по Свердловской области бренда "Башнефть", которые содержат

информацию о планируемых и фактических развозах за периоды от августа 2014г. по август 2016 г.

Входными данными являются необходимые объемы топлива, объемы секций машин и количество дней бесперебойной работы без поставок топлива, взятые из отчетов за 9 августа 2014 г. На рисунке 2.1 отражен план развоза топлива АИ 92 для нескольких машин.

	Необходимый объем топлива, л				Целевая функция:	43627,2	
Объем секций, л	16000	12000	10500	12252	Ограничения, л	16000	16000
4440	1	1,7	0,7	2		12000	12000
5960	1,5	1,9	1	2		10500	10500
6010	0,7	2,3	1,5	1		12252	12252
4330	1	1	2,3	1,5		4440	4440
5040	2,3	0,7	2,8	0,3		5960	5960
4422	2	1	1,5	2,8		6010	6010
4330	1,9	1,9	2	1		4330	4330
5160	1	2,3	2,8	2,3		5040	5040
6010	2,8	2	1	0,7		4422	4422
5050	2	1	2,8	2		4330	4330
Переменные	500	0	3940	0		5160	5160
	0	0	5960	0		6010	6010
	6010	0	0	0		5050	5050
	4330	0	0	0			
	0	2528	0	2512			
	0	4422	0	0			
	0	0	0	4330			
	5160	0	0	0			
	0	0	600	5410			
	0	5050	0	0			

Рисунок 2.1 - Результат работы надстройки «Поиск решения» для закрытой модели

Целевой функцией данного прототипа является сводящееся к минимуму поэлементное произведение введенных переменных на количество дней, которое АЗС может работать без привоза топлива (переменная «Срочность»). Указанные переменные представляют собой объем поставляемого топлива в каждой из секции автомобиля для какой-либо АЗС. Ограничения введены для обозначения максимального объема топлива в секции и требуемого объема привозимого топлива для АЗС.

В данной таблице рассмотрен вариант планирования, основанный на решении закрытой модели транспортной задачи, но, как правило, требуемый на АЗС объем топлива не равен суммарному объему секций машин. В таком случае надстройка выполняет поиск решения открытой модели, наиболее приближенного введенным ограничениям.

На рисунке 2.2 приведено планирование развоза топлива, сведенного к открытой модели транспортной задачи. Как видно из результатов, не все ограничения строго выполнены. Наиболее оптимальные результаты достигаются посредством сведения планирования развоза топлива к решению закрытой модели транспортной задачи.

	Необходимый объем топлива, л				Целевая функция:	89665,2	
Объем секций, л	16000	12000	10500	12250	Ограничения, л	16000	16000
4440	1	1,7	0,7	2		12000	12000
5960	1,5	1,9	1	2		10500	10500
6010	0,7	2,3	1,5	1		12250	12250
4330	1	1	2,3	1,5		4440	4440
5040	2,3	0,7	2,8	0,3		5960	5960
4422	2	1	1,5	2,8		6010	6010
4330	1,9	1,9	2	1		4330	4330
5160	1	2,3	2,8	2,3		5040	5040
6010	2,8	2	1	0,7		4422	4422
5050	2	1	2,8	2		4330	4328
Переменные	0	0	3250	1190		5160	5160
	0	3870	2090	0		6010	6010
	0	6010	0	0		5050	5050
	2210	2120	0	0			
	5040	0	0	0			
	4422	0	0	0			
	4328	0	0	0			
	0	0	5160	0			
	0	0	0	6010			
	0	0	0	5050			

Рисунок 2.2 - Результат работы надстройки «Поиск решения» для открытой модели

Анализ выше рассмотренных методов решения транспортной задачи позволяет сделать вывод о том, что наиболее подходящим для дальнейшей разработки является метод минимальной стоимости. Данный подход взят в основу метода планирования развоза топлива для интеллектуальной системы.

К дополнительным факторам, ограничивающим применение транспортной задачи к задаче планирования развоза топлива являются следующие:

- 1) кратность объема перевозки груза должна быть кратна объему секции;
- 2) грузы не являются однородными и каждый груз (в зависимости от вида топлива) может транспортироваться в одной секции бензовоза;
- 3) не учитывается последовательность слива топлива бензовозом (в зависимости от конструктивных особенностей сливных устройств очередность слива секций может отличаться);
- 4) отсутствует составляющая времени в виде времен начала и окончания рейсов, времен погрузки/разгрузки;
- 5) отсутствует разделение на виды грузов или их маркировка (виды топлива (например, 92, 95, 98, Дт, 80);
- 6) не учитывается наличие у бензовоза нескольких секций;
- 7) не учитываются физические ограничения бензовозов по обслуживанию АЗС;
- 8) отсутствует возможность учесть предпочтения бензовозов по обслуживанию АЗС;
- 9) не учитывается возможность обслуживания близких АЗС одним бензовозом за рейс.

Результаты анализа подходов к решению задачи планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС обобщены в таблице 2.15.

Мультиагентные системы используются для задач планирования и управления в реальном масштабе времени, ориентирована на поиск рациональных решений для задач большой размерности.

Так как транспортная задача не ориентирована на решение задач планирования рейсов и составления маршрутов, а также не учитывает ряд требований, то в данной работе транспортная задача используется на этапе распределения объема поставок от нефтебаз до АЗС (без привязки к бензовозам). Остальные факторы предлагается учесть с использованием мультиагентного подхода. В следующем разделе проводится анализ двух мультиагентных

подходов: сетей потребности и возможностей (ПВ-сетей, рассмотренных в разделе 1.5) и динамического моделирования мультиагентного процесса преобразования ресурсов.

Таблица 2.15 - Анализ подходов к решению задач планирования поставок

Критерии \ методы	Транспортная задач	Имитационное моделирование	Экспертные системы
<b>Вопросы адекватности модели</b>			
Использование средств (автотранспорта)	+	+	НЕТ
Потоки ресурсов (объемы перевозок): НБ-АЗС, НБ-Бензовоз-АЗС	+ / НЕТ	+ / +	+ / +
Время транспортировки, погрузки, план развоза	НЕТ	+	НЕТ
Эвристики модели ЛПР, агенты планирования	НЕТ	НЕТ	+
<b>Поддержка решения задач</b>			
Планирование с учетом ограничений - времени / ресурсов / средств.	НЕТ / + / +	+ / + / +	НЕТ / + / +
Анализ узких мест процессов	НЕТ	+	НЕТ
Диспетчеризация	НЕТ	+	НЕТ

### 2.2.2. Анализ существующих мультиагентных подходов, применяемых в логистике

Рассмотрим следующие подходы и модели мультиагентного планирования: 1) МППР [3, 5-6, 9, 23]; 2) ПВ-сети В.А. Виттиха и П.О. Скобелева [13, 20-21, 30, 34, 87]; 3) модель активных и пассивных преобразователей (АПП) Б.И. Клебанова и И.М. Москалева, а также ее развитие в системе моделирования социально-экономического развития [14, 48-50]; 4) подход А.В. Борщева, Ю.Г.Карпова, реализованный в системе AnyLogic [36, 88-89].

Модель МППР реализована в системах динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS и автоматизированной системе выпуска металлургической продукции (АС ВМП). Структура мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов показана на рисунке 2.3.

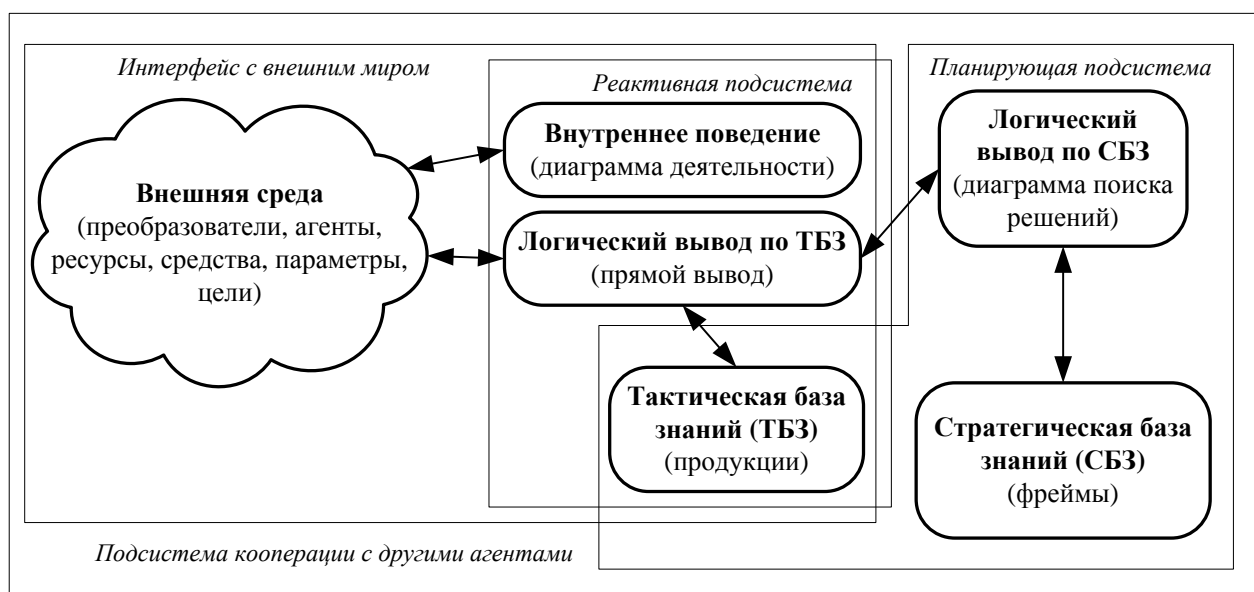


Рисунок 2.3 - Структура мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов

Мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР) [3, 5-6, 9, 23] используется для решения задач моделирования и принятия решений в области производственных, логистических, организационно-технических и бизнес-систем. В контексте МППР агентам соответствуют элементы системы управления или модели ЛПР. Модель МППР разработана в результате интеграции имитационного, ситуационного, экспертного и мультиагентного моделирования. Средство BPsim является программной реализацией МППР.

В ПВ-сетях [13, 20-21, 30, 34, 87] онтология используется для формализации точек принятия решений распределенной сети объекта управления (логистической цепи). Так, для задачи грузоперевозок выделяют следующих агентов: грузовик, техосмотр, заказ, автозаправочная станция, водитель.

В работе И.М. Москалева, Б.И. Клебанова [14] представлены математическая модель процесса преобразования ресурсов, спецификой которой является выделение пассивных и активных преобразователей. В такой модели вершины графа  $X$  образуют пассивные преобразователи, активные преобразователи, парки средств и хранилища ресурсов, а множество дуг представлено ресурсными информационными потоками, потоками средств.

Пассивный преобразователь может находиться в трех состояниях: ожидания

входных ресурсов, преобразования ресурсов и блокирования. Активный преобразователь может находиться в состояниях: резервирование ресурсов и средств (*reservation*), ожидание поступления ресурсов (*waiting*), исполнение (*producing*), ожидание передачи продукта (*shipping*), продукт передан потребителю (*loaded*), нарушены сроки по заказу (*violation*), заявка отклонена (*rejected*) [14].

При проектировании систем планирования цепей поставок важно вести контроль сроков выполнения поставок и отдельных заказов, диагностировать узкие места логистической цепи. Таким образом, необходимы средства анализа и моделирования, основанные на аппарате систем массового обслуживания. Результаты анализа рассмотренных подходов приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Сравнение подходов

Характеристики	МППР	ПВ-сеть	АПП	AnyLogic
1. Различные типы ресурсов, заявки, очереди заявок, конфликты на ресурсах	+	+	+	+
2. Учет времени, операция дискретная	+	+	+	+
3. Коммуникации агентов	+	+	НЕТ	+
4. Использование гео-данных	+	+	НЕТ	+
5. Составление плана перевозок (маршрута)	+	+	НЕТ	НЕТ
6. Распределение заказов по транспортным средствам	+	+	+	НЕТ
7. Разработка онтологий	+	+	+	НЕТ
8. Предметная онтология задач логистики	+	+	НЕТ	НЕТ
9. Настройка МЛВ (блок эвристик) для анализа ситуаций и поиска решений	+	+	НЕТ	НЕТ
10. Вычислительные сети	+	+	НЕТ	НЕТ
11. Имитационное моделирование	+	НЕТ	+	+
12. Поддержка СМО, сложный ресурс (заявка), очередь заявок	+	НЕТ	НЕТ	+
13. Дискретно-событийный подход	+	+	+	+
14. Анализ узких мест процессов	+	НЕТ	НЕТ	+
15. Полный цикл управления				
- Реакция на внешнее событие	+	+	НЕТ	НЕТ
- Планирование	+	+	+	НЕТ
- Диспетчеризация	+	+	+	НЕТ
- Пересмотр планов «на лету»	+	+	НЕТ	НЕТ
- Ручная корректировка плана	+	НЕТ	НЕТ	НЕТ
- Интерфейс диспетчера	+	+	НЕТ	НЕТ



В целом можно отметить, что подходы отличаются следующим:

**1. В подходах используется разное распределение и представление знаний.**

В ПВ-сети каждый агент владеет только своими знаниями и для решения общей задачи планирования и управления необходима функция коммуникации агентов, тем самым ПВ-сеть представляет систему децентрализованного управления. В системе AnyLogic разработан набор блоков для имитационного моделирования транспортных систем, но нет средств работы со знаниями (нет онтологии, базы знаний, МЛВ). В силу того, что в МППР и АПП знания обо всем объекте управления находятся в общей БЗ, то МППР представляет в большей степени систему централизованного управления, информация в которую поступает из распределенных источников информации (датчиков остатков топлива, системы мониторинга транспортных средств и корпоративной системы логистического предприятия). В главе 3 показано, как в ходе решения задачи интеграции комплекса BPsim с корпоративной информационной системой топливного предприятия была получена открытая система имитационного моделирования.

**2. Подходы отличаются технической реализацией:** последние применения ПВ-сети ориентированы на распределенные вычисления и сети, программная реализация моделей МППР, АПП и система AnyLogic являются локальными СИМ. Программная реализация МППР в виде автоматизированной системы выпуска металлургической продукции [67-71, 73] с модулями обмена данными с автоматизированными системами предприятия (который представляет собой реализацию шины данных предприятия) и модуль интеграции моделей (который позволяет применять модели в задачах анализа, прогнозирования и управления в реальном масштабе времени) также позволяет работать в распределенных вычислительных сетях.

**3. Задачи планирования и диспетчеризации решаются с помощью ПВ-сетей и модели МППР, система AnyLogic на решение данных задач не ориентирована** (требуется программно реализовывать блок планирования). Подход АПП не ориентирован на решение задач планирования и диспетчеризации систем логистики. К недостаткам подхода ПВ-сетей в [4] относится "нервность" при

обработке новых событий, поступающих в систему, которая проявляется в следующем: 1) большая часть составленных рейсов корректируется в ходе выполнения (23% всех решений пересматриваются через 1 час после принятия, только 10% всех решений живут более 3 часов); 2) в целом количество фаз проактивности, давших результат по улучшению расписания, варьируется от 0 до 18% в течение часа; 3) система информирует участников цепи логистики обо всех связанных с ними изменениях, что вносит напряженность. Программная реализация модели МППР усилена блоками агентных эвристик, реализованных на основе продукционной и фреймовой экспертной подсистем, а также блоком диагностики и фильтрации ситуаций, что в целом существенно снижает уровень "нервности" логистической цепи.

С целью детального анализа двух наиболее подходящих подходов (ПВ-сети и МППР) в следующем разделе проводится их экспериментальный анализ.

### **2.2.3. Экспериментальный анализ применимости ПВ-сетей и модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР)**

Адекватными математическими моделями большинства задач эффективного и оптимального планирования перевозок могут служить соответствующие задачи линейного программирования транспортного типа, для решения которых в настоящее время имеются универсальные методы — в первую очередь симплекс-метод и его варианты, учитывающие специфику задач такого типа (различные усложненные и видоизмененные постановки транспортной задачи). Но линейные методы не позволяют учесть ряд требований предметной области (как показано в предыдущем разделе), а также решать следующие задачи в динамике:

1. Планирование загрузки транспортного средства заказами.
2. Перепланирование загрузки транспортного средства (в случае прихода нового заказа).
3. Планирование маршрута транспортного средства с учетом сроков доставки отдельных заказов, размещения гостиниц и АЗС.

#### 4. Перепланирование маршрута транспортного средства в случае появления нового заказа.

Данные задачи требуют иных методов решения.

Единственным способом решения задач составления расписаний является применение систем поддержки принятия решений (СППР) на основе эффективных имитационных и мультиагентных моделей. Такие модели позволяют «проиграть» различные схемы управления парком транспортных средств с учётом текущей ситуации (срочности и объемов грузоперевозок, состояния и дислокации транспортных средств, остатков топлива в транспортных средствах, размещения АЗС), проанализировать различные варианты развития событий и выбрать наиболее эффективное решение на заданный момент времени.

Существуют различные подходы, применяемые при построении мультиагентных моделей, к наиболее перспективным относятся следующие: сети потребностей-возможностей (ПВ-сеть) [13, 20-21, 30, 34, 87] и мультиагентные процессы преобразования ресурсов (МППР) [3, 5-6, 9, 23]. Целью данного подраздела является определение их достоинств и недостатков на примере задачи снабжения топливом сети автозаправочных станций.

Аппарат ПВ-сетей разработан В.А. Виттихом, П.О. Скобелевым. Программно реализован в продукте MAGENTA. В настоящее время система MAGENTA не представлена на рынке и не доступна для исследования. Для построения ПВ-сети достаточно любого программного продукта, который использует мультиагентные модели взаимодействия, базирующиеся на понятии интеллектуального агента. Поэтому модель на ПВ-сети так же, как и модель МППР будет реализована в BPsim.MAS.

Рассмотрим работу сети автозаправочных станций. В данной ПО функционируют пять АЗС, стоянка с тремя бензовозами и нефтебаза. Каждая АЗС содержит набор колонок с определенным типом топлива:

- 1) на АЗС1, АЗС2 и АЗС4 расположены колонки с топливом АИ-92, АИ-95 и дизельное топливо (ДТ);
- 2) на АЗС3 и АЗС5 расположены колонки с топливом АИ-92 и АИ-95.

Бензовозы имеют 2 отсека, каждый объёмом по 4600 л. Бензовозы располагаются в гараже, при возникновении заявки на пополнение топлива на какой-либо или каких-либо АЗС, диспетчер закрепляет заявку/заявки за бензовозом, а далее бензовоз отправляется на нефтебазу. На нефтебазе происходит заправка бензовоза, после чего последний едет на АЗС, которые он взялся обслуживать. По прибытии бензовоза на АЗС, она закрывается на время слива топлива. Обслужив все закреплённые за бензовозом заявки, бензовоз ожидает в течение некоторого времени новых заявок на последней обслуженной АЗС. Если таковые поступят, то он отправится на нефтебазу, если нет, то бензовоз возвратится в гараж и будет ожидать новых заявок.

На рисунке 2.4 представлена схема движения бензовозов и расположение АЗС относительно стоянки, нефтебазы и друг друга. АЗС соединённые красными стрелками находятся на большом расстоянии друг от друга, АЗС соединённые синими стрелками находятся на среднем расстоянии друг от друга, АЗС соединённые зелёными стрелками расположены близко друг к другу.

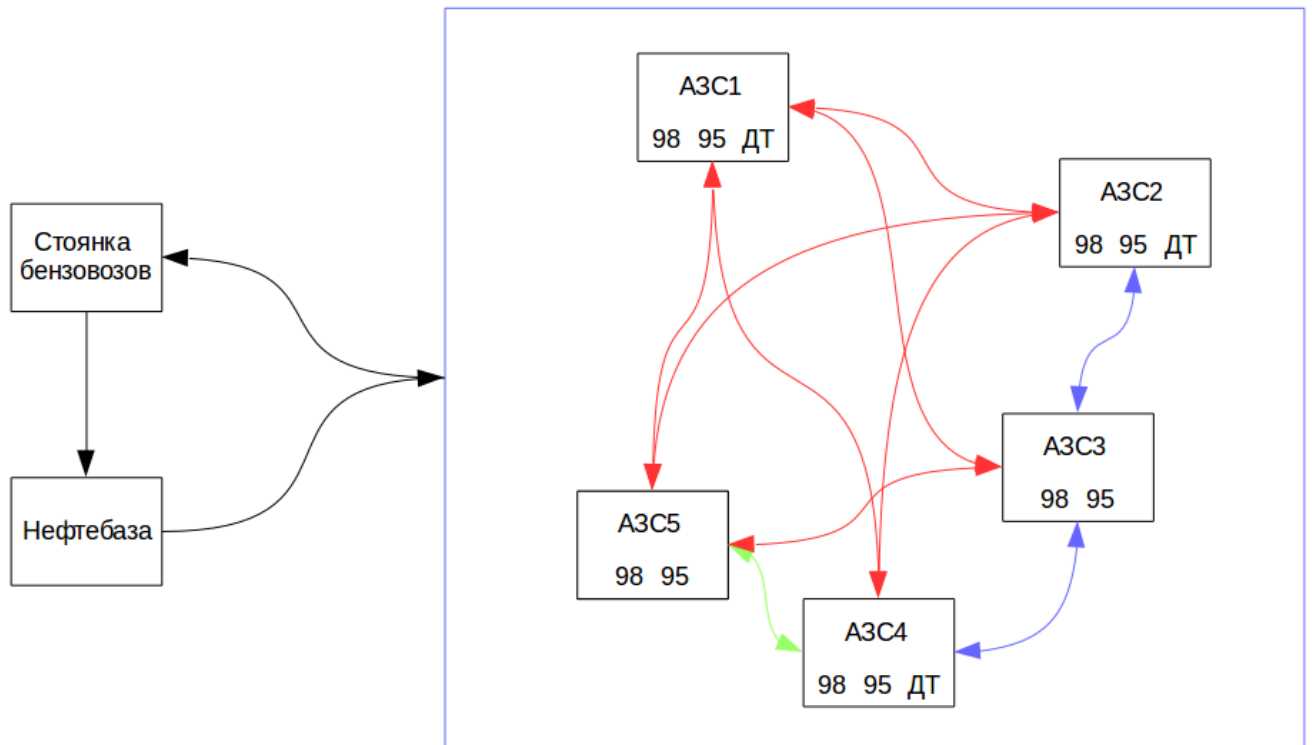
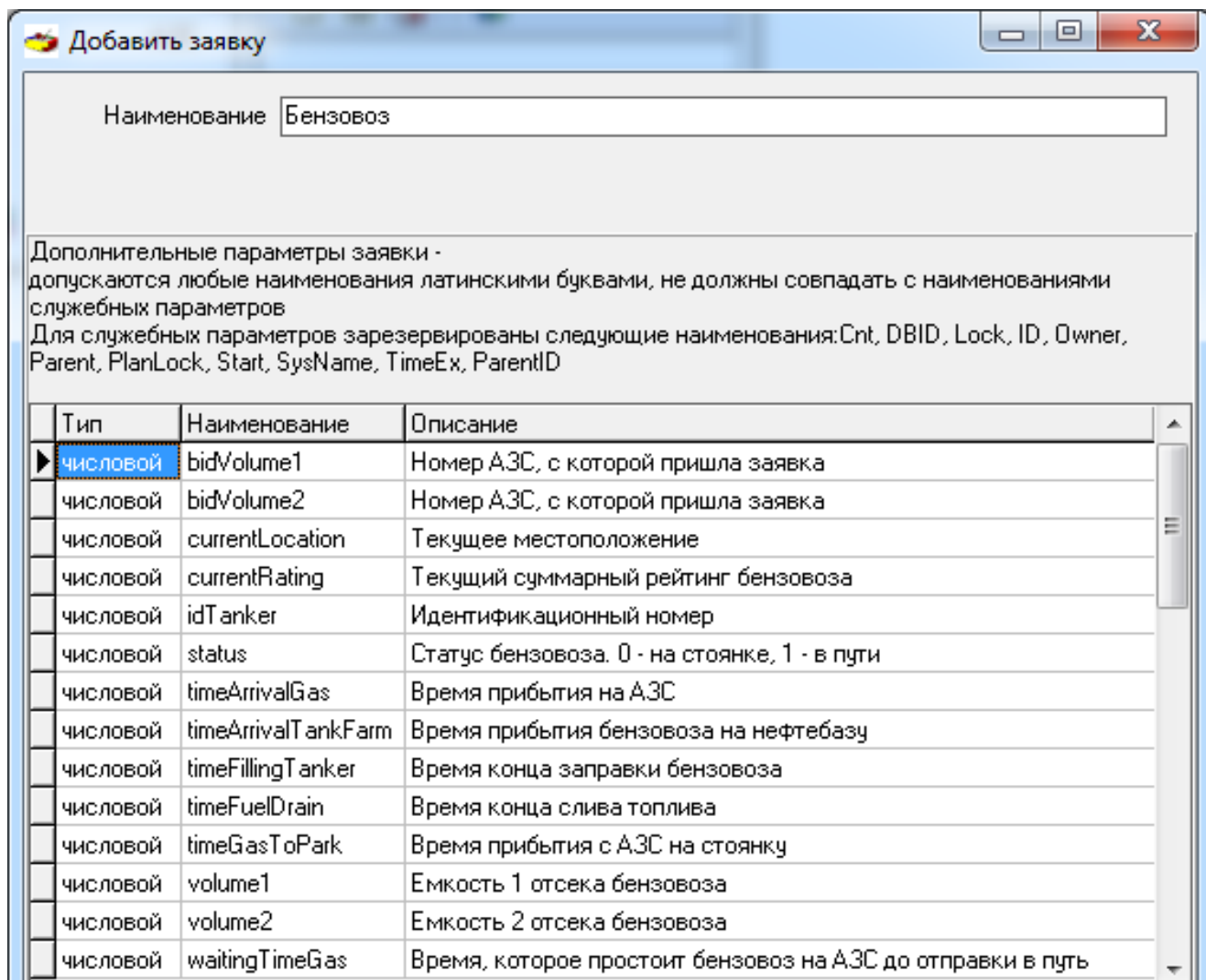


Рисунок 2.4 - Схема движения бензовозов и расположение АЗС относительно стоянки, нефтебазы и друг друга

## Описание модели МППР сети АЗС

Модель разработана в проблемно-ориентированной системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS. В данной модели определены заявки «Бензовоз» ( $z1$ ) и «Заявка на топливо» ( $z2$ ). Экземпляры заявки «Бензовоз» ( $z1$ ) играют роль реальных бензовозов. Атрибуты заявки «Бензовоз» и их описание приведено на рисунке 2.5.



Дополнительные параметры заявки -  
допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с наименованиями  
служебных параметров  
Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID, Lock, ID, Owner,  
Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx, ParentID

Тип	Наименование	Описание
числовой	bidVolume1	Номер АЗС, с которой пришла заявка
числовой	bidVolume2	Номер АЗС, с которой пришла заявка
числовой	currentLocation	Текущее местоположение
числовой	currentRating	Текущий суммарный рейтинг бензовоза
числовой	idTanker	Идентификационный номер
числовой	status	Статус бензовоза. 0 - на стоянке, 1 - в пути
числовой	timeArrivalGas	Время прибытия на АЗС
числовой	timeArrivalTankFarm	Время прибытия бензовоза на нефтебазу
числовой	timeFillingTanker	Время конца заправки бензовоза
числовой	timeFuelDrain	Время конца слива топлива
числовой	timeGasToPark	Время прибытия с АЗС на стоянку
числовой	volume1	Емкость 1 отсека бензовоза
числовой	volume2	Емкость 2 отсека бензовоза
числовой	waitingTimeGas	Время, которое простоит бензовоз на АЗС до отправки в путь

Рисунок 2.5 - Атрибуты заявки «Бензовоз» ( $z1$ )

Экземпляры второй заявки «Заявка на топливо» ( $z2$ ) необходимы для сообщения о потребности какой-либо АЗС в топливе. Атрибуты заявки «Заявка на топливо» приведены на рисунке 2.6.

Добавить заявку

Наименование

Дополнительные параметры заявки -  
 допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с  
 наименованиями служебных параметров  
 Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID, Lock, ID,  
 Owner, Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx, ParentID

Тип	Наименование	Описание
числовой	idGasStation	Номер АЗС, которой необходимо топливо
числовой	needFuel	Сколько необходимо топлива
числовой	timeout	Время простоя заявки до установки приоритета бензовозам

Рисунок 2.6 - Атрибуты заявки «Заявка на топливо» (z2)

На рисунке 2.7 приведён верхний уровень декомпозиции модели МППР сети АЗС. Операция «Время» служит счётчиком времени. Агент «Создание и инициализация бензовозов» отвечает за создание экземпляров заявки «Бензовоз» и инициализацию их атрибутов.

### МППР

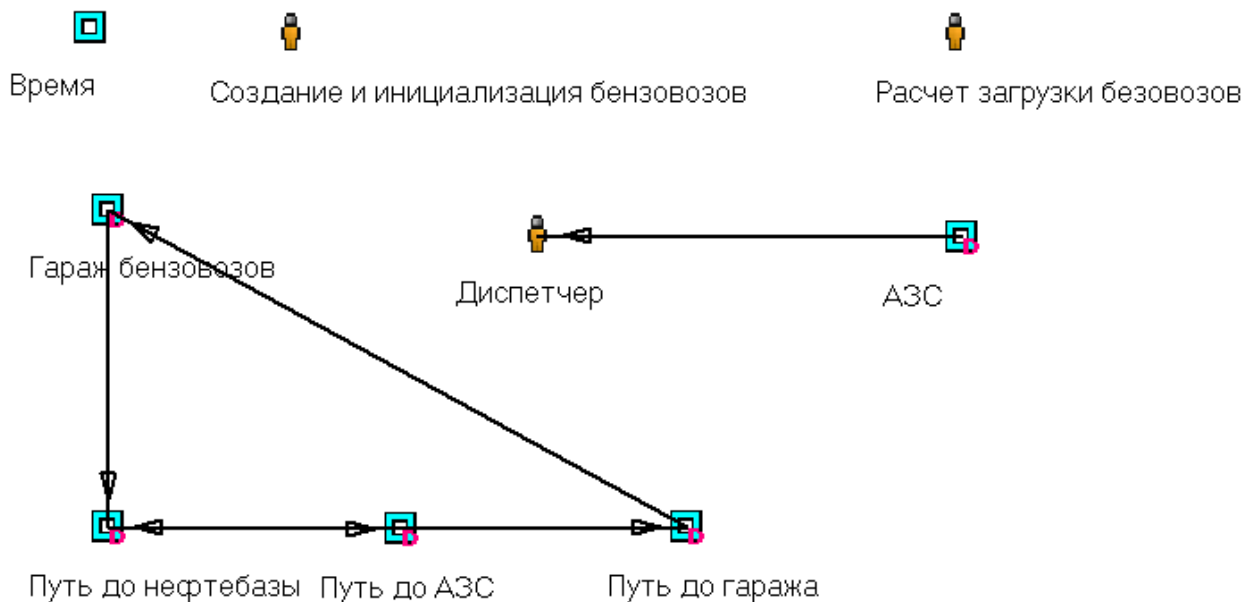


Рисунок 2.7 - Верхний уровень декомпозиции модели МППР сети АЗС

На рисунке 2.8 приведено описание ситуации «Создание и инициализация первого бензовоза».

№	Действия, входящие в THEN	Время старта
1	Создание объекта заявки бен CreateOrder(z1)	
2	Инициализация номера бенз z1_idTanker:=1	
3	Инициализация объема емко z1_volume1:=4600	
4	Инициализация объема емко z1_volume2:=5000	
5	Установка текущего рейтинга z1_currentRating:=100	
6	Передача заявки z1_owner:="w2"	

Рисунок 2.8 - Описание ситуации «Создание и инициализация первого бензовоза» агента «Создание и инициализация бензовозов»

После создания и инициализации, бензовозы находятся в узле «Гараж бензовозов». За создание экземпляров заявок «Заявка на топливо» отвечает узел «АЗС». Декомпозиция узла «АЗС» приведена на рисунке 2.9.

АЗС



Рисунок 2.9 - Декомпозиция узла «АЗС»

Операции «АС31», «АС32», «АС33», «АС34» и «АС35» изображённые на рисунке 2.9, имитируют работу АЗС. Внутри вышеупомянутых операций имеются операции, которые соответствуют колонкам с различным типом топлива (например, АЗС1/98). С каждым тактом (так равен 1 минуте реального времени) уменьшается текущий остаток топлива в соответствующей ёмкости АЗС на величину среднего расхода топлива в минуту, при условии, что текущий остаток топлива больше заданного уровня. Условия запуска и изменение ресурсов на выходе операции «АЗС1/98» приведены на рисунке 2.10.

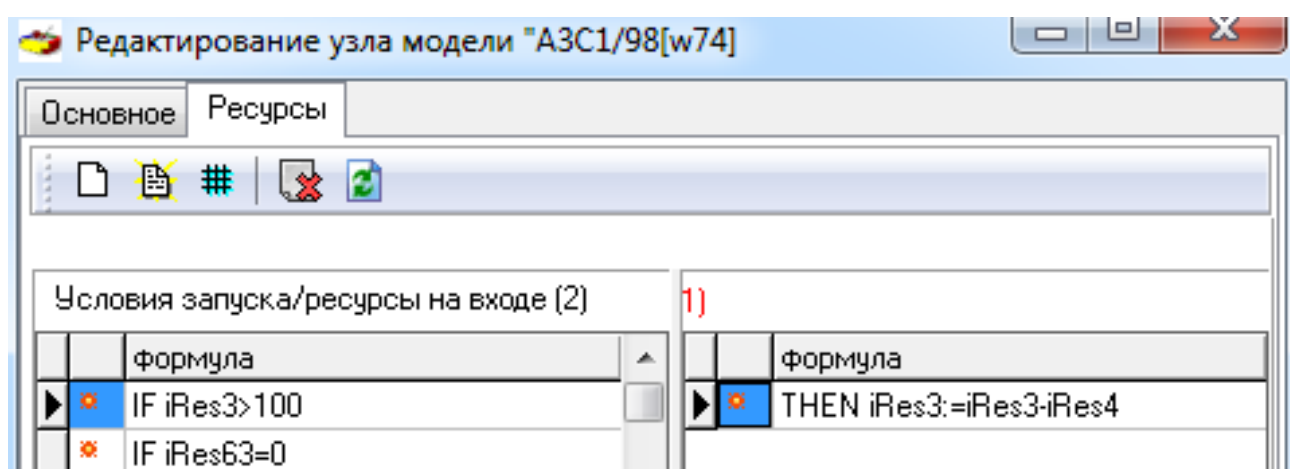


Рисунок 2.10 - Условия запуска и изменения ресурсов на выходе операции «АЗС1/98»

Когда текущий остаток топлива на АЗС становится меньше заданного уровня, то создаются экземпляры заявки «Заявка на топливо», и происходит инициализация их атрибутов. Эта логика реализована в агенте «Создание заявок на топливо». На рисунке 2.11 приведено описание ситуации «Создание и инициализация заявки на топливо (ЗнТ) АЗС1/98».

Экземпляры заявок «Заявка на топливо» агент «Диспетчер» закрепляет за свободными бензовозами, в зависимости от текущего состояния последних. Итогом работы агента «Диспетчер» являются закреплённые заявки за бензовозом.

Получив первую заявку и располагая свободной емкостью, бензовоз ожидает в гараже некоторое время второй заявки. После этого периода времени бензовоз отправляется на нефтебазу, где он заправляется необходимым топливом и едет развозить его по АЗС.



порядковый номер

Имя ситуации

Текстовое описание ситуации

условие IF - взаимодействие с "внешним миром" через  
☒ рабочую память (РП) ☐ базу знаний (БЗ)

IF (ЕСЛИ)

Диапазон с  по

N°	Действия, входящие	в THEN	Время старта
1	Установка флага в 1	iRes12:=1	
2	Создание заявки на топливо	CreateOrder(z2)	
3	Инициализация номера АЗС	z2_idGasStation:=11	
4	Кол-во необходимого топлива	z2_needFuel:=iRes9-iRes3	
5	Увеличиваем кол-во заявок	iRes55:=iRes55+1	

Рисунок 2.11 - Описание ситуации «Создание и инициализация ЗнТ АЗС1/98» агента «Создание заявок на топливо»

По прибытию на необходимую АЗС, бензовоз сливает топливо. На время слива топлива АЗС закрывается. Если за бензовозом закреплена ещё одна заявка, то он отправляется на следующую АЗС. После того, как все закреплённые заявки закрыты, бензовоз ожидает на последней обслуженной АЗС некоторое время поступления новых заявок. Если новые заявки появятся, то бензовоз отправится на нефтебазу за топливом. Данную логику реализует операция «Путь до АЗС», декомпозиция которой приведена на рисунке 2.12.

#### Путь до АЗС

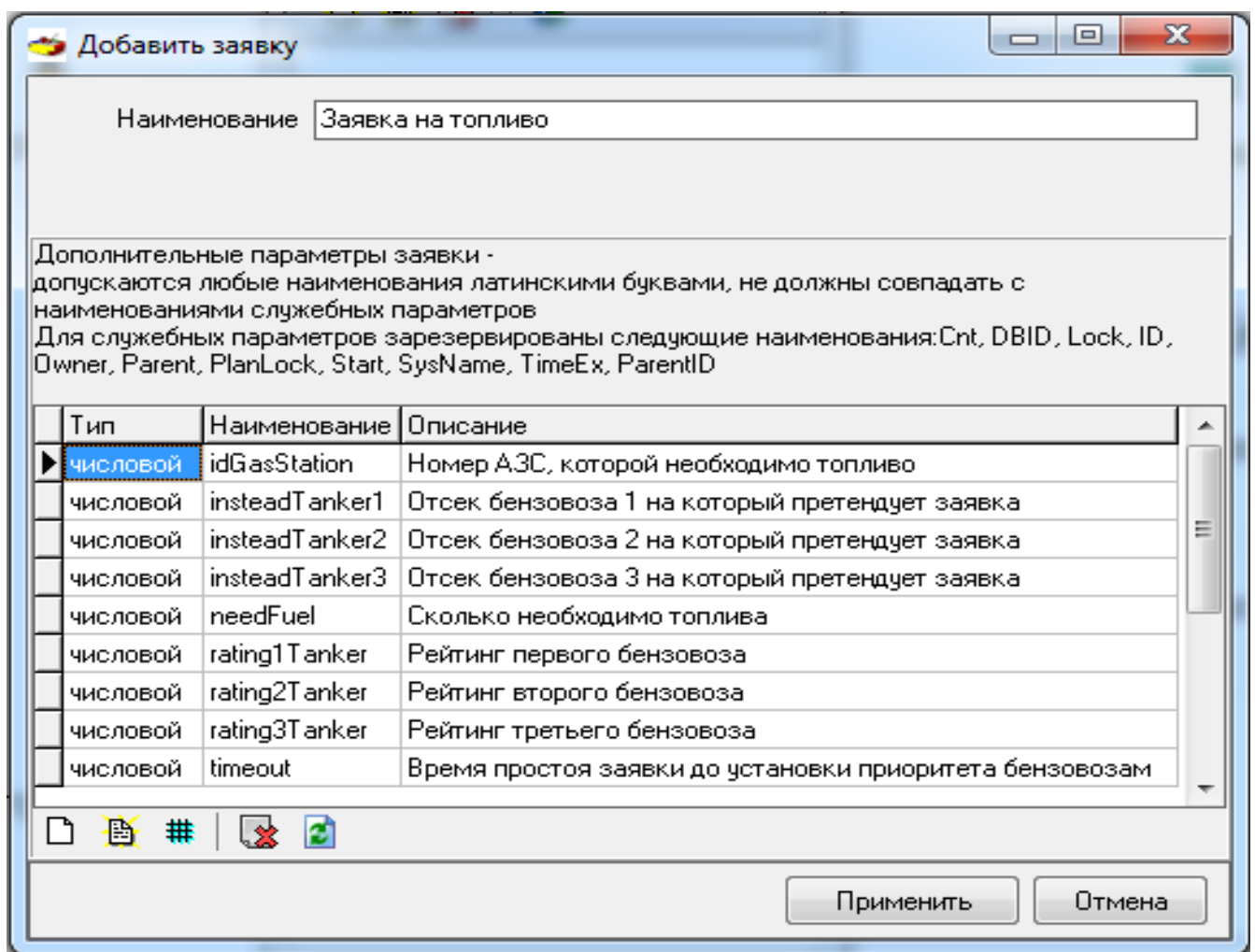


Рисунок 2.12 - Декомпозиция операции «Путь до АЗС»

Если же новые заявки не появились, то бензовоз отправляется на стоянку. Этот функционал содержит операция «Путь до гаража». В модели присутствует агент «Расчёт загрузки бензовозов» изображённый на рисунке 2.7, который рассчитывает текущую и среднюю загрузку бензовозов.

### Описание модели сети АЗС на ПВ-сети

В данной модели используются те же заявки, что и в модели МППР, но «Заявка на топливо» отличается набором атрибутов, которые необходимы для реализации ПВ-сети. Атрибуты заявки на топливо приведены на рисунке 2.13.



Добавить заявку

Наименование

Дополнительные параметры заявки -  
допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с  
наименованиями служебных параметров  
Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID, Lock, ID,  
Owner, Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx, ParentID

Тип	Наименование	Описание
числовой	idGasStation	Номер АЗС, которой необходимо топливо
числовой	insteadTanker1	Отсек бензовоза 1 на который претендует заявка
числовой	insteadTanker2	Отсек бензовоза 2 на который претендует заявка
числовой	insteadTanker3	Отсек бензовоза 3 на который претендует заявка
числовой	needFuel	Сколько необходимо топлива
числовой	rating1Tanker	Рейтинг первого бензовоза
числовой	rating2Tanker	Рейтинг второго бензовоза
числовой	rating3Tanker	Рейтинг третьего бензовоза
числовой	timeout	Время простоя заявки до установки приоритета бензовозам

Применить Отмена

Рисунок 2.13 - Атрибуты заявки «Заявка на топливо» (z2)

На рисунке 2.14 приведён верхний уровень декомпозиции модели сети АЗС на ПВ-сети.

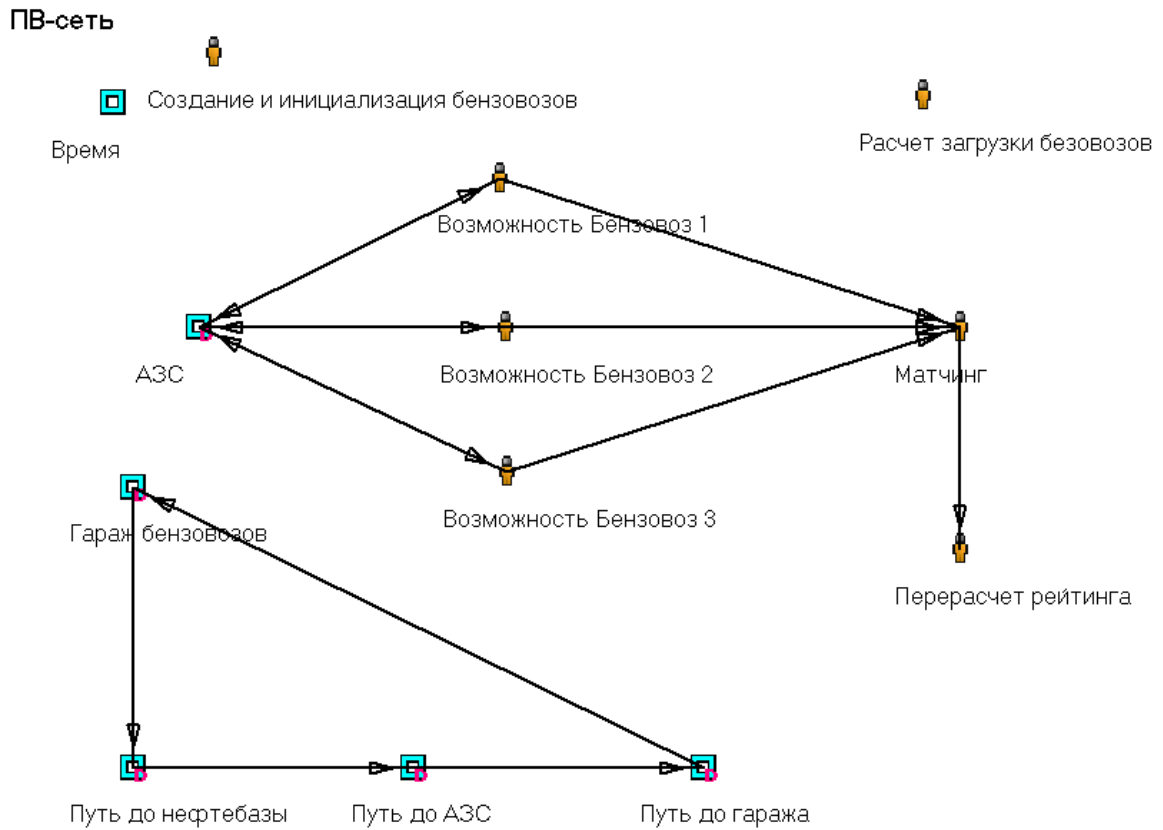


Рисунок 2.14 - Верхний уровень декомпозиции модели сети АЗС на ПВ-сети

В данной модели, также присутствует агент «Создание и инициализация бензовозов», правила которого создают и инициализируют экземпляры заявки «Бензовоз». После создания они находятся в узле «Гараж бензовозов». Операция «АЗС» имитирует работу АЗС. Декомпозиция операции «АЗС» приведена на рисунке 2.15.

АЗС

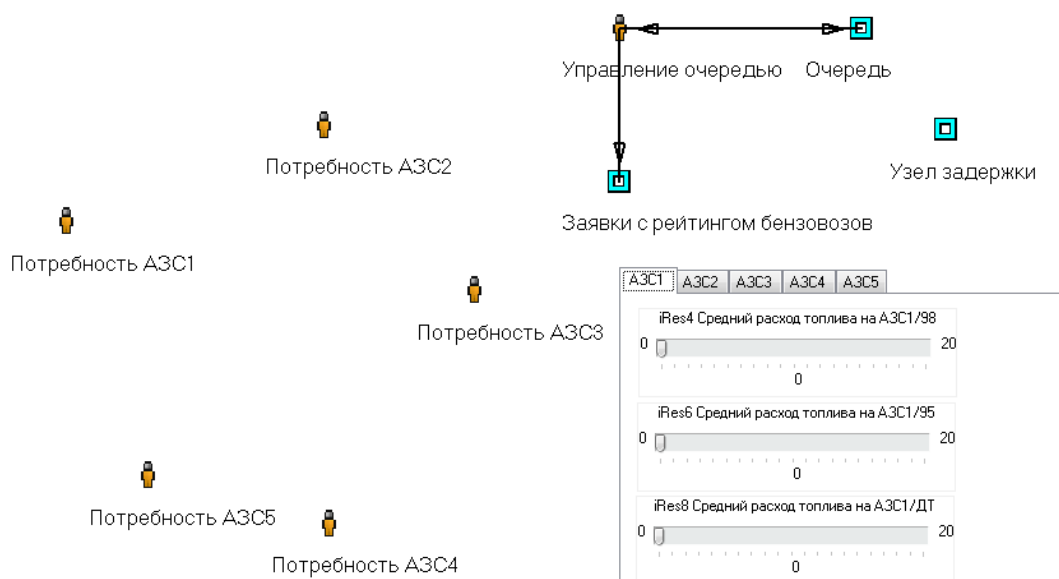


Рисунок 2.15 - Декомпозиция операции «АЗС»

Вместо операций «АЗС1-5» реализованы агенты «Потребность АЗС1-5», они отслеживают и уменьшают текущий остаток топлива в соответствующих ёмкостях АЗС, а также создают заявки (потребности) «Заявка на топливо» в случае, если текущее количество топлива становится меньше заданного уровня. Правила агента «Потребность АЗС1» приведены на рисунке 2.16.

Активирование узла модели "Потребность АЗС1[a66]

Модель Агента

Мониторинг ситуаций Цели агента (0) Диаграммы деятельности (0)

ИМЯ СИТУАЦИИ	IF
A3C1/98	(iRes3>100)&(iRes63=0)
A3C1/95	(iRes5>100)&(iRes64=0)
A3C1/ДТ	(iRes7>100)&(iRes65=0)
Создание и инициализация Знт АЗС1/98	(iRes3<=3000)&(iRes12=0)
Создание и инициализация Знт АЗС1/95	(iRes5<=3000)&(iRes13=0)
Создание и инициализация Знт АЗС1/ДТ	(iRes7<=3500)&(iRes14=0)

а) Имя ситуации и часть «Если»

(состояний) Глобальное условие запуска Агента

THEN
(iRes3:=iRes3-iRes4)
(iRes5:=iRes5-iRes6)
(iRes7:=iRes7-iRes8)
(CreateOrder(z2))&(iRes12:=1)&(z2_idGasStation:=11)&(z2_needFuel:=iRes9-iRes3)&(z2_rating1Tanker:=99)&(z2_rating2Tanker:=99)&(z2_rating3Tanker:=99)&(iRes55:=iRes55+1)&(z2_owner:="w34")
(CreateOrder(z2))&(iRes13:=1)&(z2_idGasStation:=12)&(z2_needFuel:=iRes10-iRes5)&(z2_rating1Tanker:=99)&(z2_rating2Tanker:=99)&(z2_rating3Tanker:=99)&(iRes55:=iRes55+1)&(z2_owner:="w34")
(CreateOrder(z2))&(iRes14:=1)&(z2_idGasStation:=13)&(z2_needFuel:=iRes11-iRes7)&(z2_rating1Tanker:=99)&(z2_rating2Tanker:=99)&(z2_rating3Tanker:=99)&(iRes55:=iRes55+1)&(z2_owner:="w34")

б) часть «То»

Рисунок 2.16 - Правила агента «Потребность АЗС1»

Закрепление экземпляров заявок за бензовозами существенно отличается от того процесса, который происходит в модели МППР. Сначала проходят переговоры между агентами-бензовозами и агентами-экземплярами заявок «Заявка на топливо». В процессе этих переговоров для каждого экземпляра заявки рассчитывается рейтинг, который будет иметь бензовоз, если возьмётся обслуживать эту заявку. Для удобства было решено сделать 0 — максимальным значением рейтинга. Данный функционал реализован в агентах «Возможность Бензовоза 1-3», которые изображены на рисунке 2.14. После этих переговоров, происходит процедура матчинга, которая определяет, какие заявки будут закреплены за каким бензовозом опираясь на рейтинг. Причём, после закрепления первой заявки, необходимо выполнить процедуру перерасчёта рейтинга для

незакрепленных заявок, то есть выполнить новый цикл переговоров. Таким образом, система пытается свести суммарное количество штрафов к минимуму.

После завершения комплектации бензовоза или истечения времени ожидания новой заявки, бензовоз отправляется на нефтебазу, а далее развозит топливо по АЗС. Движение бензовоза имитирует схожая цепочка операций с той, что используется в модели МППР. Также присутствует агент «Расчёт загрузки бензовозов», изображённый на рисунке 2.14, который рассчитывает текущую и среднюю загрузку бензовозов.

### Проведение экспериментов

Для дальнейшего сравнения подходов МППР и ПВ-сети были смоделированы одинаковые ситуации для двух моделей, по итогу которых были определены следующие параметры:

- 1) реальное время работы модели *Т<sub>время\_моделирования</sub>*;
- 2) средние загрузки всех бензовозов;
- 3) суммарное количество рейсов;
- 4) суммарный объем перевезённого топлива, л.

Были смоделированы следующие ситуации, представленные в таблице 2.17:

- 1) эксперимент №1, заявки на топливо поступают равномерно на протяжении трёх суток работы АЗС случайным образом;
- 2) эксперимент №2, планирование выполняется периодически (несколько раз в сутки для всей сети АЗС), на протяжении трёх суток работы АЗС.

Таблица 2.17 - Результаты экспериментов (модели сети АЗС МППР и ПВ-сети)

Параметры/Эксперимент № (модель)	1, МППР	1, ПВ-сеть	2, МППР	2, ПВ-сеть
Т <sub>время моделирования</sub> , МИН	30	99	41	147
Средняя загрузка бензовоза 1, %	62,78	63,96	63,04	48,79
Средняя загрузка бензовоза 2, %	56,41	30,36	51,92	37,94
Средняя загрузка бензовоза 3, %	31,02	25,38	38,72	37,22
Суммарное количество рейсов	35	27	30	22
Суммарный объем перевезённого топлива, л	224200	207000	225400	183000

Эксперимент модели МППР занимает намного меньше реального времени, необходимого для прогона той или иной ситуации, чем модель ПВ-сети. Это объясняется меньшим набором правил у агентов, который необходим для закрепления заявок за бензовозами и меньшим количеством самих агентов. Время прогона в ряде случаев является весьма важным критерием. С увеличением сложности модели, время, необходимое на прогон, увеличивается в разы, причем основной фактор, оказывающий на это влияние, является количество коммуникаций, приходящихся на такт модельного времени.

Средняя загрузка бензовозов имеет разницу. У модели на ПВ-сети количество рейсов бензовозов и соответственно объем поставленного топлива меньше (от 7,7 до 19%, в среднем 13%), чем у МППР модели. Это объясняется возможностью постоянного пересмотра плана с целью поиска более выгодных комбинаций с точки зрения текущего рейса и отказа от уже закрепленных заявок бензовозом и взятием других заявок.

Стоит также отметить то, что для разработки МППР модели понадобилось гораздо меньше человеко-часов, чем на разработку модели на ПВ-сети.

### **Сравнительный анализ мультиагентных подходов: МППР и ПВ-сети**

Основное отличие этих моделей заключается в следующем: в модели МППР агент-диспетчер решает задачу планирования (какую заявку за каким бензовозом закрепить), реализован принцип централизованного управления. В ПВ-сети процесс принятия решений реализуется в процессе матчинга, который происходит между агентами-бензовозами и агентами-заявками. В процессе коммуникаций (переговоров) агентов потребностей и возможностей решается следующая задача: кто и какую заявку закрепит за собой, то есть наблюдается децентрализованное управление (с учётом реализации в СИМ, на количество коммуникаций в текущем такте ограничения не накладываются и они завершаются по разрешению всех ситуаций инициированных процедурой матчинга).

В случае ПВ-сети, коммуникации и процедура матчинга даёт негативный эффект «нервозности» системы. Как показала практика применения технологии Magenta (ПВ-сеть) для служб такси и компаний по грузоперевозкам, процедура

матчинга в реальном времени не лучшим образом сказывается на водителях бензовозов (несёт эффект нервозности). Но, с другой стороны, коммуникации и процедура матчинга могут приблизить к рациональному решению. Это объясняется возможностью постоянного пересмотра плана с целью поиска более выгодных комбинаций. Для модели сети АЗС - это отказ от уже закреплённых заявок бензовозом и взятием других заявок.

В случае подхода МППР время, затраченное на тот или иной прогон модели, существенно меньше, чем в случае модели построенной на ПВ-сети. Модель МППР с функцией наилучшего распределения заявок по бензовозам справляется следующим образом: она анализирует через какое количество времени появится заявка, с которой тот или иной бензовоз будет иметь наименьший штраф. Если это время не так велико, то диспетчер устанавливает статус ожидания данной заявки бензовозом, если нет, то отдает бензовозу наиболее подходящую заявку.

При создании ПВ-сети приходится в большом количестве реализовывать подобные, но не одинаковые правила агентов-возможностей и агентов-потребностей (возможностей в первую очередь), которые необходимы для осуществления контрактов между последними, что сказывается на эффективности работы аналитика, который разрабатывает модель.

Еще один недостаток моделей на ПВ-сети заключается в том, что велики затраты системных ресурсов на определение в какой последовательности агент-возможность будет общаться с агентом-потребность, в случае, если общение будет происходить не каждый с каждым. Если общение будет происходить каждый с каждым, то и в этом случае будут задействованы значительные системные ресурсы вычислительной техники. В модели МППР затраты ресурсов вычислительной техники при прогоне существенно меньше. Таким образом, применение подхода МППР в моделях процессов производства и логистики имеет ряд преимуществ, перечисленных выше, перед применением подхода сетей потребностей-возможностей.

### **2.3. Выбор модели представления знаний для мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов**

Результаты данного подраздела опубликованы в [15].

При проведении системного анализа логистических, производственных, организационно-технических систем (ОТС) и бизнес-процессов обычно описывают следующие составляющие: миссию, виденье, стратегии, процессы [9]. Разработка прикладных систем поддержки принятия решений на основе гибридных (динамических и интеллектуальных) моделей требует поддержки следующих функций [9]:

- 1) проектирование концептуальной модели предметной области;
- 2) описание знаний о предметной области и вывод на знаниях;
- 3) описание динамических процессов преобразования ресурсов;
- 4) разработка иерархической модели процесса;
- 5) наличие языков описания ситуаций, команд (для описания модели управления);
- 6) построение мультиагентных моделей (наличие сообществ интеллектуальных агентов (ИА)). Модели ИА соответствуют моделям лиц, принимающим решения (ЛПР);
- 7) интеграция концептуального, имитационного моделирования (ИМ), экспертных систем (ЭС) и ситуационного управления (СУ);
- 8) интеграция с CASE-средством.

Несмотря на активное применение средств концептуального моделирования на основе языка UML в области разработки ИС, применение данных средств в инженерии ИМ ограничено [10]. Преимуществом подхода интеграции концептуального и ИМ является возможность быстрого перехода от концептуальных моделей к моделям проектирования и применения (программной реализации) [10]. При решении задачи перехода от концептуальной модели к ИМ могут быть использованы онтологии или модели представления знаний. Онтология (в информатике) [11] – это попытка



всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила, принятые в этой области. Онтология определяется как  $O = \langle X, R, F \rangle$ , где  $X$  - конечное множество понятий предметной области,  $R$  - конечное множество отношений между понятиями,  $F$  - конечное множество функций интерпретации [11]. Согласно терминологии ЭС  $F$  соответствует машина логического вывода.

Сравнительный анализ типовых моделей представления знаний для задачи извлечения знаний о предметной области логистики, ОТС, мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) и дальнейшем применении в программных ИМ представлен в таблице 2.18.

Таблица 2.18 - Сравнение различных моделей представления знаний

Требования к модели	Продукции	Семантические сети	Фреймы
Наглядность	НЕТ	ДА	ДА
Представление иерархических данных	НЕТ	ДА	ДА
Простота добавления новых знаний	ДА	НЕТ	НЕТ
Согласованность с объектно-ориентированным подходом (ООП)	НЕТ	НЕТ	ДА
Использование UML	НЕТ	НЕТ	ДА
Учёт динамики процессов	НЕТ	НЕТ	НЕТ

*Сравнительный анализ показал, что наиболее эффективно применять смешанный – продукционный и фреймовый подход для формализации знаний о предметной области логистики. Интегрированное применение фреймов и продукций позволяет удовлетворить всем критериям, за исключением учёта динамики процессов (для этой цели в работе используется имитационное моделирование). Недостатком фреймового подхода является сложность реализации МЛВ.*

При проведении системного анализа в качестве основы описания структуры

фрейм-концептов может быть использована диаграмма классов языка UML. Дальнейшее описание концептуальных графов (семантики) и наполнение данными образует базу знаний. Для реализации визуального построителя машины логического вывода используются диаграммы поиска решений (расширение диаграмм последовательности языка UML). Диаграмма последовательности графически описывает последовательность вызова методов между классами при решении определенной задачи (сценария). Данный подход позволяет визуально описать ход решения задачи [4].

В зависимости от аспектов моделирования, различные концепты предметной области используют различные элементы модели МППР. К основным классам (концептам) предметной области имитационного моделирования бизнес-процессов и процессов логистики относятся следующие[15]:

- 1) бизнес-процесс с его временными и стоимостными характеристиками, а также характеристики входов, выходов и средств операций МППР (элементарных единиц бизнес-процесса);
- 2) пункты (населенные и ненаселенные), содержащие гео-информацию – в МППР могут быть представлены соответствующими заявками;
- 3) транспортные средства – в МППР могут быть представлены соответствующими заявками или средствами;
- 4) персонал – в МППР может быть представлен средствами или соответствующими заявками;
- 5) ЛПР – в МППР представлены агентами. Эвристики формализуются в виде правил агентов;
- 6) дорожная сетка и маршруты движения – в МППР представляются маршрутами перемещения заявок через операции, описывающие перемещения по логистической цепи;
- 7) ресурсы и грузы (хранилища ресурсов и грузов), используемые в бизнес-процессах – в МППР представлены соответствующими заявками или ресурсами;

8) классы аккумулярования статистики и результатов экспериментов (например, класс – рейсы) формируются на выходе модели МППР.

В [12] приведены результаты разработки средств и методов моделирования бизнес-процессов и проектирования программного обеспечения (ПО), автоматизирующих процесс от стадии формализации процессов, разработки динамических моделей процессов и процессов принятия решений, проведения имитационных экспериментов с моделями, анализу «узких мест», реинжинирингу и оптимизации процессов, до проектирования ПО (генерации базы данных и прототипов программных модулей). В [12] также приведена семантическая модель, описывающая мультиагентный процесс преобразования ресурсов.

Опыт разработки онтологий для проектов логистики и цепей поставок представлен в [41]. В ПВ-сетях [13, 20-21, 87] онтология используется для формализации точек принятия решений распределенной сети объекта управления (логистической цепи). Так для задачи грузоперевозок выделяют следующих агентов: грузовик, техосмотр, заказ, автозаправочная станция, водитель.

При описании предметных онтологий и причинно-следственных законов для описания динамики процессов (согласно [10, 44-45], в предметной онтологии дискретно-событийного имитационного моделирования используется концепт «Casual Low» в модели МППР эквивалентом является концепт «Действие») в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS используются специализированный проблемно-ориентированный язык.

Семантическая модель взята за основу и расширена детальным описанием семантики с точки зрения ИМ и учета поведения агентов. Действия могут приводить как к параметрическим изменениям элементов модели МППР, так и к структурным. Модель представлена на рисунок 2.17 [15].

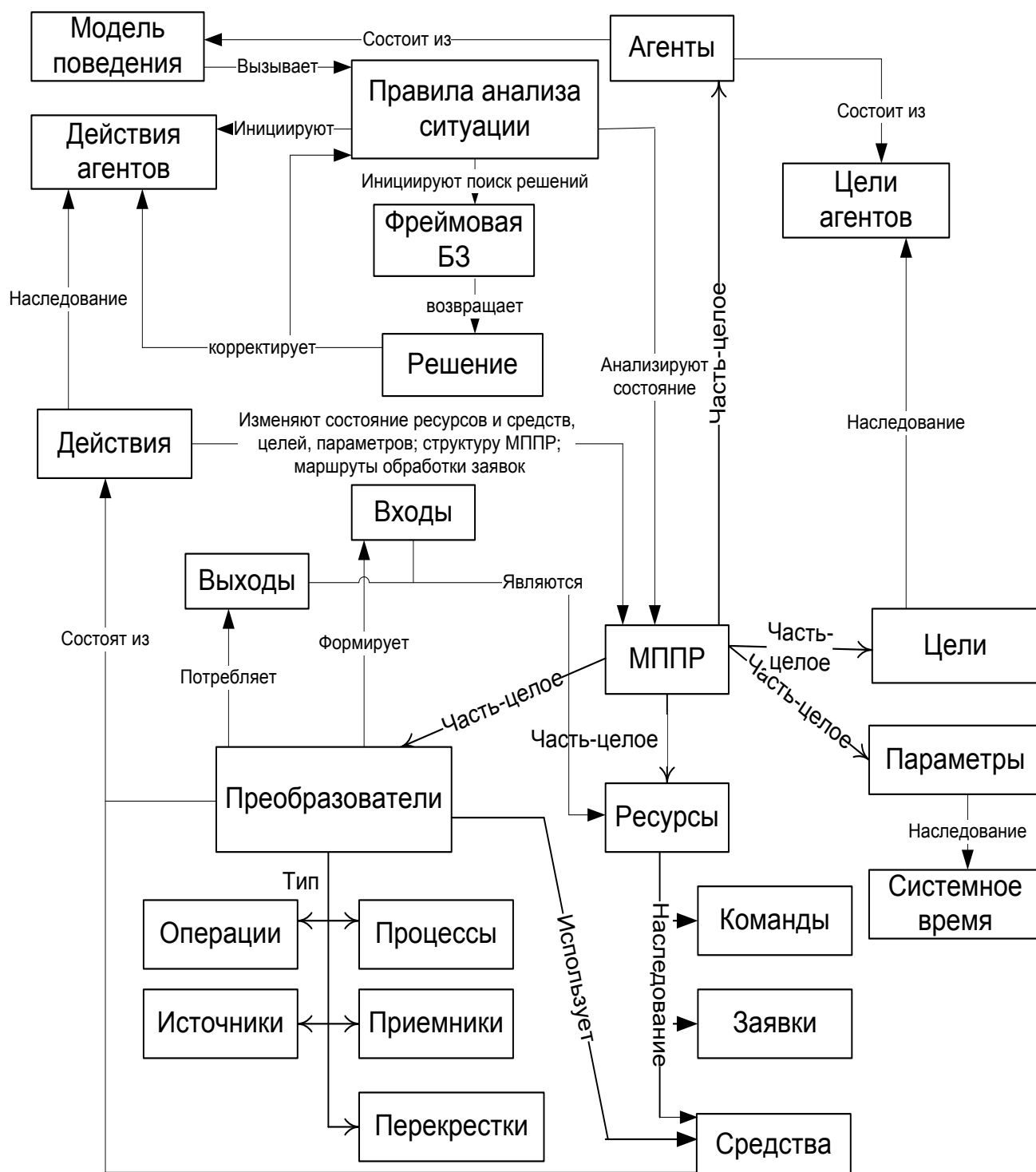


Рисунок 2.17 - Семантическая модель МППР [15]

Данная модель расширена элементами онтологии проектов логистики, представленной в [41], и адаптирована под специфику задачи снабжения сети АЗС. Интегрированная онтология МППР и топливной логистики сети АЗС представлена на рисунке 2.18.

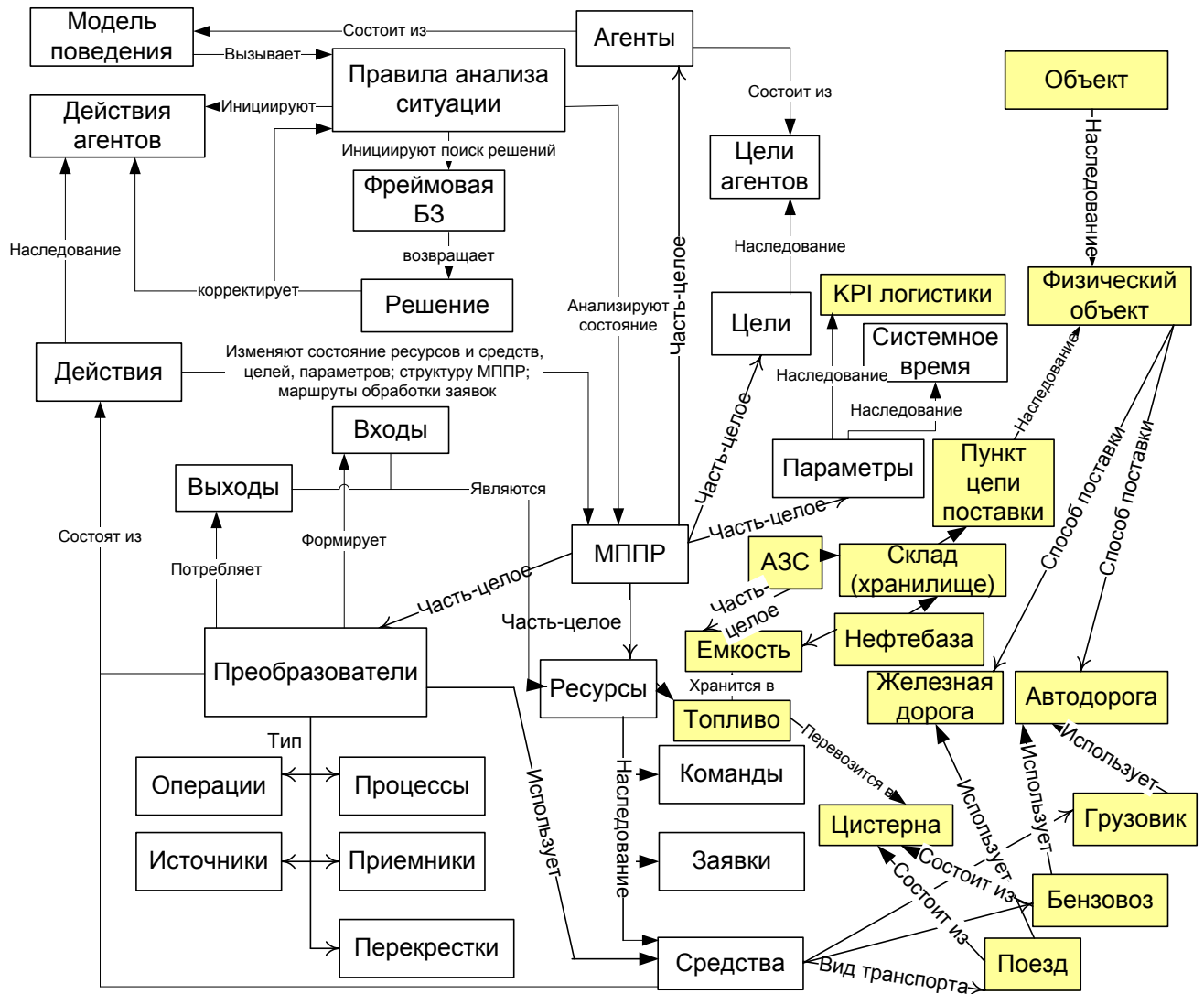


Рисунок 2.18 - Интегрированная онтология МППР и топливной логистики сети автозаправочных станций

Данная модель может быть расширена до онтологии транспортной логистики за счет введения следующих концептов: транспортные средства (погрузчик, вагон, кран), персонал (кладовщик, грузчик, водитель, диспетчер), груз, контейнер, паллета, заказ, клиент, поставщик, график работы, маршрут.

К бизнес-правилам бизнес-процесса логистики относятся следующие:

- 1) правила погрузки транспортного средства;
- 2) правила планирования маршрута и графика работы;
- 3) правила распределения заказов по транспортным средствам;
- 4) правила диспетчеризации и обработки внештатных ситуаций;
- 5) правила анализа остатков на складах и генерации заказов на поставку;

6) правила ценообразования, дистрибьюции товаров и проведения маркетинговых акций.

Данная онтология используется в методе планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, представленном в следующем разделе.

## 2.4. Разработка метода планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС

Метод решения задачи рационального построения транспортно-распределительной системы предприятия базируется на использовании элементов теории линейного программирования, теории составления расписаний, аппарата имитационного и мультиагентного моделирования. Для решения задачи составления эффективного плана перевозок транспортно-распределительной системы предлагается метод последовательного улучшения исходной схемы перевозок, который основан на теории линейного программирования, а также имитационной модели работы бензовозов, нефтебаз и сети АЗС.

За основу математической постановки задачи взята транспортная задача. Топливо сосредоточено у  $m$  поставщиков (нефтебаз) в объемах  $a_1, a_2, \dots, a_m$ . Данное топливо необходимо доставить  $n$  потребителям (АЗС) в объемах  $b_1, b_2, \dots, b_n$ . Известны  $c_{ij}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$  — стоимости перевозки единиц топлива от каждого  $i$ -го поставщика каждому  $j$ -му потребителю.

Целевая функция задачи развоза топлива имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij}x_{ij} + c_j^{\text{потери\_продаж}}) \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ .

Дополнительным переменной, существенно сказывающейся на решении задачи являются затраты связанные с простоями АЗС (когда топливо закончилось, такую АЗС называют «сухой») и с упущенной прибылью при сливе топлива бензовозом на АЗС. Данная переменная ( $c_j^{\text{потери\_продаж}}$ ) зависит от спроса (среднего объема продаж) на топливо в данном промежутке времени:

$$c_j^{\text{потери.продаж}} = \begin{cases} \sum_{t=t_{\text{начало.простоя}}}^{t_{\text{окончание.простоя}}} \sum_{r=1}^{\text{вид.топлива}_j} c_j^{\text{единицы.топлива.на.АЗС}} v_j^{\text{ср.объем.продажи}}(t) \\ \sum_{t=t_{\text{начало.слива}}}^{t_{\text{окончание.слива}}} \sum_{r=1}^{\text{вид.топлива}_j} c_j^{\text{единицы.топлива.на.АЗС}} v_j^{\text{ср.объем.продажи}}(t) \end{cases} \quad (2)$$

где  $t_{\text{начало.простоя}}$  - время начала простоя АЗС ("сухая" АЗС);  $t_{\text{окончание.простоя}}$  - время окончания простоя "сухой" АЗС;  $\text{вид.топлива}_j$  - виды топлива на  $j$ -ой АЗС (в зависимости от ситуаций и регламентов работы АЗС потери продаж могут быть по всем ТРК и всем видам топлива АЗС);  $c_j^{\text{единицы.топлива.на.АЗС}}$  - стоимость единицы топлива на АЗС;  $v_j^{\text{ср.объем.продажи}}$  - средний объем продаж на АЗС;  $t_{\text{начало.слива}}$  - время начала слива топлива бензовозом на АЗС;  $t_{\text{окончание.слива}}$  - время окончания слива топлива на АЗС.

Система ограничений задачи состоит из основных групп уравнений (3-4), направленных на распределение топлива между АЗС и нефтебазами.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

где  $a_i$  - запасы на нефтебазах планируемые к развозу.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

где  $b_j$  - потребности на АЗС.

Результаты оценки размерности решаемой задачи для 3-х сетей АЗС представлены в таблице 2.17. При оценке использовались данные о сети АЗС «Башнефть» Свердловской области; сети АЗС «Башнефть» Свердловской, Курганской и Челябинской области, сети «Газпромнефть» Свердловской области.

В таблице представлены данные из минимального учета суточных часовых волн объемов продаж (определяемые потоками автотранспорта на АЗС), так при учете недельных волн потоков автотранспорта количество переменных на 1 емкость АЗС увеличивается в семь раз, т.е.  $24 \cdot 7 = 168$  (тогда переменных для сети из 40 АЗС будет уже 33,6 тыс.), а в случае учета сезонных волн количество переменных становится еще больше.

**Таблица 2.19 - Оценка размерности задачи планирования  
нефтепродуктообеспечения сети АЗС**

Параметр	Сеть АЗС «Башнефть» Свердловская область	Сеть АЗС «Башнефть» Курганская Челябинская, Свердловская область	Сеть АЗС «Газпромнефть» Свердловская область
<b>Количество переменных</b>	<b>5877</b>	<b>14475</b>	<b>31179</b>
<b>АЗС</b>	40	95	210
емкостей АЗС (на 1 АЗС в среднем 5 емкостей)	200	475	1050
переменных на 1 емкость (3: текущий остаток, мин.остаток, общий объем)	600	1425	3150
переменных по статистике продаж (минимально на 1 емкость 24)	4800	11400	25200
<b>НБ</b>	6	12	10
емкостей на НБ (на 1 НБ в среднем 5)	30	60	50
переменных на 1 емкость (3: текущий остаток, мин.остаток, общий объем)	90	180	150
<b>Бензовозов</b>	12	26	40
Количество секций в среднем 3	36	78	120
переменных на 1 бензовоз (6: очередность слива секций, сливное устройство, свой\чужой, общий объем, количество секций, средний расход топлива)	72	156	240
<b>Другие переменные</b>			
Переменных расстояний (сочетаний НБ-АЗС)	240	1140	2100
Переменных расстояний (близких АЗС, из расчета у 1 АЗС есть 1 близкая)	39	96	219

Метод состоит из следующих этапов:

1. Определение начальных условий задачи планирования (актуализация остатков топлива на АЗС и НБ, действующего парка бензовозов, стратегий развоза топлива с НБ).
2. Генерация информационных структур, соответствующих заказам от сети потребителей продукции, на основании информации о текущем состоянии запасов ресурсов на складах (нефтебазах, АЗС).
3. Построение матрицы и решение транспортной задачи в части определения объема поставок с нефтебаз до АЗС (без привязки бензовозов). Как показано в разделе 2.2, применение транспортной задачи в части распределения поставок по бензовозам ограничено в связи с



существенными ограничениями предметной области топливной логистики ГСМ. Определение для каждого заказа (потребности на поставку топлива) поставщика (склада/логистического центра - нефтебазы).

4. Обработка решения из транспортной задачи 1: Ранжирование всех потребностей (определение наиболее срочных потребностей – что везем раньше, а что позже) - согласно приоритетности.
5. Обработка решения из транспортной задачи 2: Формирование рейсов (плана развоза). На данном этапе используется интеллектуальный агент-планировщик с фреймовой базой знаний, учитывающей физические ограничения АЗС и бензовозов (по их совместимости и возможности обслуживания), а также предпочтения по применению.
  - а. Закрепление за каждым заказом транспортного средства и определение времени исполнения (времен начала и окончания рейса).
  - б. Проверка загрузки всех секций бензовоза. В случае недозагрузки секции(й) бензовоза заказами с одной АЗС, выполняется дозагрузка заказами с близких АЗС.
6. Проверка плана специалистом по логистике диспетчером.
7. Ручная, автоматизированная или автоматическая корректировка плана развоза экспертом (диспетчером, ЛПР). Корректировка может применяться во внештатных ситуациях, связанных с задачами диспетчеризации.
8. Проверка и корректировка плана развоза на мультиагентной имитационной модели процесса преобразования ресурсов.

Эффективность работы метода напрямую зависит от адекватности модели и исходных данных. Для решения задачи, повышения эффективности метода, предлагается интегрировать/загружать исходные данные из корпоративной информационной системы предприятия. К таким данным относятся следующие: парк транспортных средств, текущее состояние ресурсов на складах и логистических пунктах, данные о маршрутах. Исходные данные можно загружать из ERP-системы и из системы мониторинга парка транспортных средств.

Структура этапов решения задачи рационального построения системы управления грузоперевозками показана на рисунке 2.19 [8].

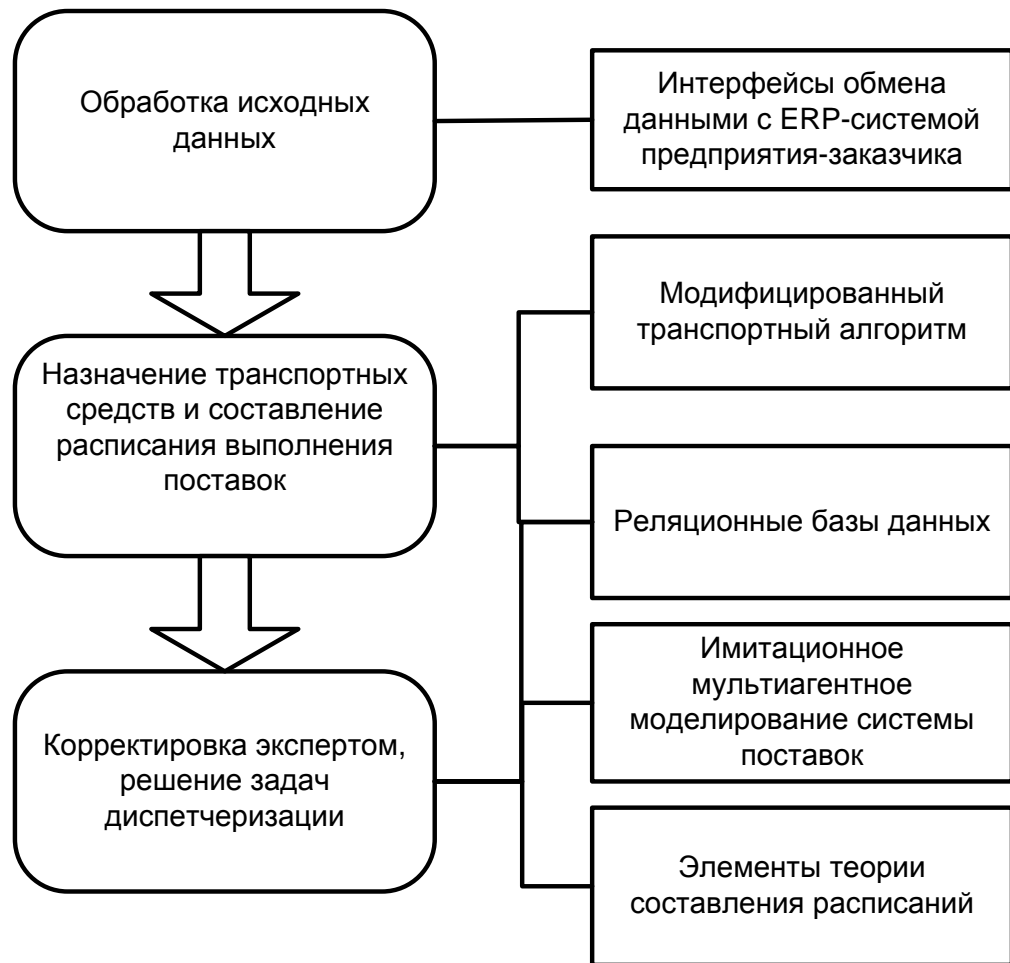


Рисунок 2.19. Структура этапов решения задачи рационального построения управления грузоперевозками

Этап 1– определение начальных условий задачи планирования (актуализация остатков топлива на АЗС и НБ, действующего парка бензовозов, стратегий развоза топлива с НБ).

Этап 2- заключается в генерации заказов на основе информации о текущих остатках на складах сети продаж/распределения.

- а. Запасы на нефтебазах планируемые к развозу определяются стратегией развоза соответствующего вида топлива:

$$a_i = \begin{cases} a_i^{\text{остаток}}(t) - a_i^{\text{мин.остаток}}, & \text{strategy(вид.топлива)} = \text{"подгорло"} \\ \frac{a_i^{\text{остаток}}(t) - a_i^{\text{мин.остаток}}}{l}, & \text{strategy(вид.топлива)} = \text{"по минимуму"} \end{cases} \quad (5)$$

где  $a_i^{остаток}(t)$  - текущий остаток топлива в емкости на нефтебазе;  $a_i^{мин.остаток}$  - минимальный остаток ("мёртвый") топлива в емкости на нефтебазе;  $l$  - плановое количество дней до поставки топлива на нефтебазу;  $strategy(вид.топлива)$  - стратегия развоза топлива с нефтебазы: 1) "под горло" применяется когда есть необходимость "разгрузки" емкостей на НБ; 2) стратегия "по минимуму" применяется, когда топливо недостаточно для удовлетворения потребностей сети АЗС и поставки в ближайшее время не ожидаются.

б. Расчет (определение) потребностей топлива на АЗС кратных емкости минимального бензовоза. Потребности на АЗС определяются стратегией развоза соответствующего вида топлива:

$$b_j = \begin{cases} b_j^{min} = k b_j^{ср.суточ.потребл.}, & strategy(вид.топлива) = "по\ минимуму" \\ b_j^{max} = b_j^{общ.объем.емкости} - b_j^{остаток}(t), & strategy(вид.топлива) = "под\ горло" \\ b_{j\_экв.айера}, & strategy(вид.топлива) \neq "по\ минимуму" \end{cases} \quad (6)$$

где  $k$  - количество дней до следующего развоза;  $b_j^{ср.суточ.потребл.}$  - среднесуточное потребление;  $b_j^{общ.объем.емкости}$  - общий объем ёмкости АЗС;  $b_j^{остаток}(t)$  - текущий остаток в емкости АЗС;  $b_{j\_экв.айера}$  - заявка эквайера (клиента-АЗС, которому поставляют нефтепродукты, но он относится к другой сети АЗС).

Кратность минимальной секции  $v$  бензовоза  $p$  определяется ограничением:

$$b_j \geq \min(\{v(p)\}) \quad (7)$$

с. Прогноз потребностей на остальных емкостях АЗС, у которых на вторую половину смены может возникнуть потребность, кратная емкости минимального бензовоза. Ограничение по максимальной вместимости емкости АЗС, в ряде случаев при планировании развоза учитывают значение прогноза продаж  $\Delta_{продаж}^{прогноз}$  к плановому времени поставки топлива:

$$b_j \leq b_j^{общ.объем.емкости} - b_j^{остаток}(t) - \Delta_{продаж}^{прогноз}(b_j, t_{плановое} - t) \quad (8)$$

Этапы 2 – 4 программно реализованы в фреймовой экспертной подсистеме [4], машина логического вывода которой использует в своей основе конструктор диаграмм поиска решений [5-6] рисунок 2.20, построенных на основе диаграмм последовательности языка UML.

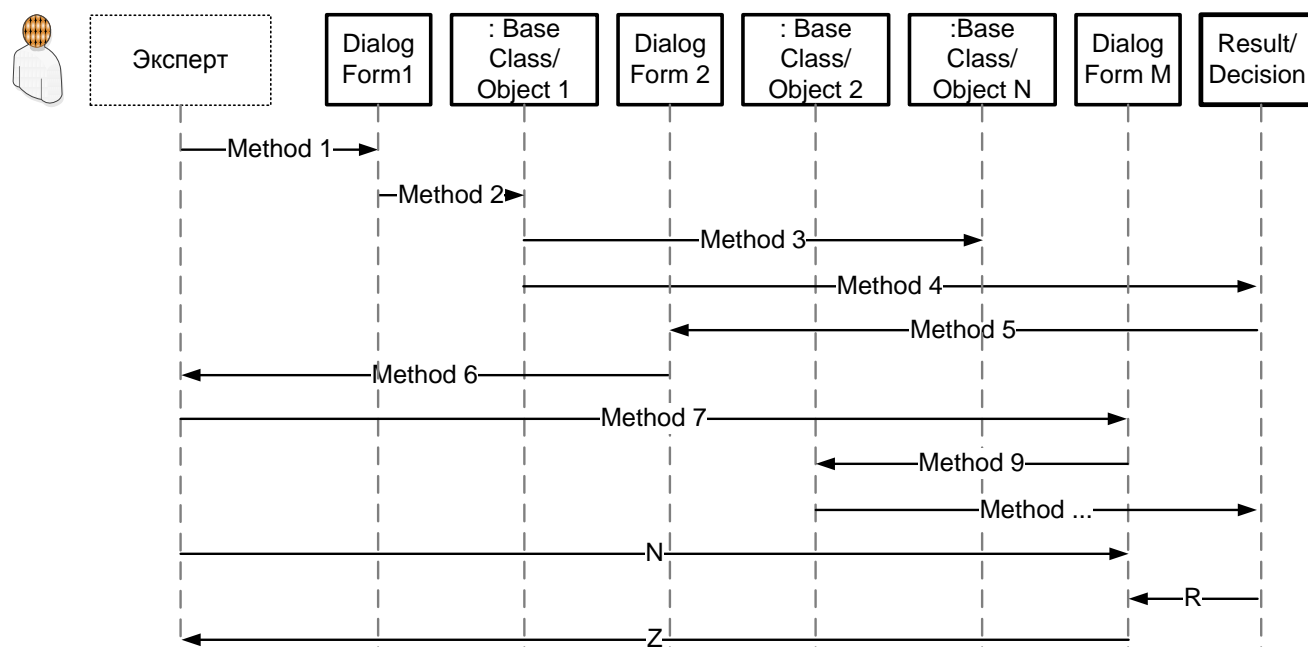


Рисунок 2.20 - Диаграмма поиска решения

Пример диаграммы поиска решения для задачи распределения заявок-потребностей от АЗС по бензовозам для агента «Планировщика» показан на рисунке 2.21.

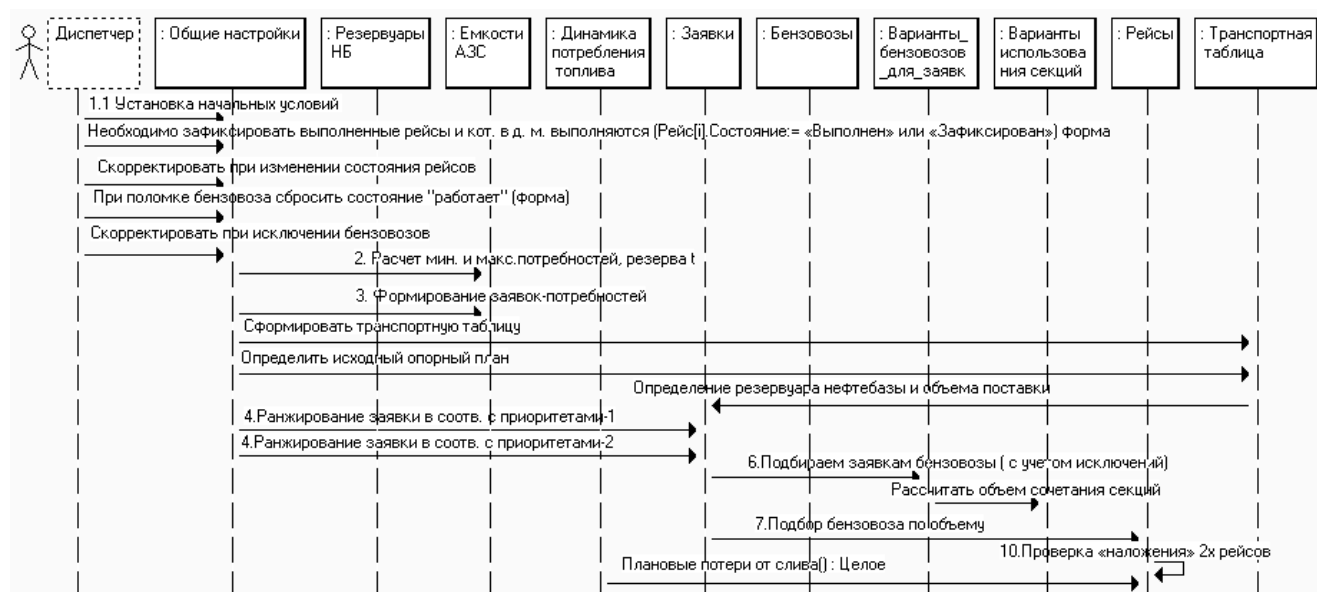


Рисунок 2.21 - Диаграмма поиска решений «Планирование развоза топлива. Распределение заявок по бензовозам»

Этап 3 – построение матрицы и решение транспортной задачи в части поставок с нефтебаз до АЗС (без привязки бензовозов). Определение для каждого заказа (потребности на поставку топлива) поставщика (склада – нефтебазы).

При этом возможны следующие ситуации:

- 1) на всех НБ (своих и чужих) есть в достаточном объеме топливо (классическая задача);
- 2) на своих НБ есть ограничения по отгружаемому объему топлива (его недостаточно для обеспечения потребностей сети АЗС), но топливо имеется у чужих НБ. В этом случае возможно применение, как классического подхода транспортной задачи, так и применение стратегии минимальных поставок на АЗС (только в те емкости, в которых уровень топлива упадет до минимального остатка), что приводит как к уменьшению поставок на сеть АЗС, так и к приобретению топлива у сторонних НБ;
- 3) на своих(своей) НБ есть необходимость целенаправленной отгрузки определенных(определенного) видов(вида) топлива с целью уменьшения штрафов (например, за простой подвижного железнодорожного состава). Например, на одну из НБ поступил состав с топливом, нужно разгрузить НБ (искусственно снижаем на этой НБ стоимость топлива для применения в транспортной задаче);
- 4) на НБ (своих и чужих) есть объем топлива, который покрывает потребность сети АЗС, при условии его комбинации (например, потребность сети АЗС – 50 000 л, на своей НБ – 40 000 л, на чужой НБ – 30 000 (но по более низкой цене)), данная ситуация бывает редко. Чаще проявляется ситуация с комбинацией своих и чужих НБ, когда определенные виды топлива (например, 98 и/или 80), поставляются со сторонних НБ, а основные виды (92, 95, Дт) со своих НБ.

Этап 4 – обработка решения из транспортной задачи 1: Ранжирование всех потребностей (определение наиболее срочных потребностей – что везем раньше, а что позже) - согласно приоритетности. При использовании транспортной задачи приоритет развоза не учитывается, поэтому может возникнуть следующая ситуация: топлива на АЗС недостаточно для удовлетворения всех потребностей, но его было бы достаточно для удовлетворения срочных потребностей. Однако

данная информация не учитывается при решении транспортной задачи, и срочные потребности могут быть не удовлетворены. Чтобы данной ситуации избежать необходимо ввести шаг оценки объема срочных потребностей и его возможности удовлетворения возможностями нефтебаз и бензовозами. В такой ситуации менее срочные потребности в матрице приравнять 0. На втором этапе осуществляется выбор поставщиков для заказов. При помощи модифицированного транспортного алгоритма производится подбор поставщика (склада или логистического центра) для каждого заказа, с учетом текущего состояния склада и ожидаемых поставок продукции.

Приоритетность потребности (заявки) поставки топлива определяется временем прогноза остановки АЗС:

$$priority_j = \begin{cases} 0, b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} = 0 \\ t_{\text{прогноза.остановки.АЗС}}, b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{плановое}}^{\text{поставки}} - t) \leq 0 \\ t_{\text{окончания.смены}}, b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{окончания.смены}} - t) \gg 0 \end{cases} \quad (9)$$

Этап 5 предусматривает разработку расписания перевозок для каждого транспортного средства. На данном этапе для каждого заказа определяется транспортное средство(бензовоз) и время выполнения, с учетом ограничений (размещение груза (согласно очередности слива), особенности транспортировки, суммарной массы груза, распределения по осям, условий сроков поставок каждого заказа, закрепляемого за транспортным средством).

5.a) Определение временных ограничений для заявок.

Ограничение по времени и приоритетности поставки топлива:

$$\begin{aligned} & [t_{\text{начала.рейса}}, t_{\text{окончания.рейса}}] \in \\ & \left\{ \begin{aligned} & [t_{\text{начало.смены}}, t_{\text{окончания.рейса1}}], b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} = 0 \\ & \{t_{\text{начало.смены}}, t_{\text{прогноза.остановки.АЗС}}\}, b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{плановое}}^{\text{поставки}} - t) \leq 0 \\ & \{t_{\text{начало.смены}}, t_{\text{окончания.смены}}\}, b_j^{\text{остаток}}(t) - b_j^{\text{мин.остаток}} - \Delta_{\text{продаж}}^{\text{прогноз}}(b_j, t_{\text{окончания.смены}} - t) \gg 0 \end{aligned} \right. \quad (10) \end{aligned}$$

Первая (верхняя) строка описывает ситуацию для "сухой" АЗС, такие заявки наивысшего приоритета обслуживаются первыми рейсами  $priority := 0$ . Средняя строка описывает ситуацию когда, топливо на АЗС может закончиться в течение

смены  $priority := t_{\text{прогноза.остановки.АЗС}}$ . Нижняя строка описывает ситуацию для остальных потребностей.

Ограничение по времени поставки топлива для заявок, не относящихся к наивысшему приоритету, снижающее потери продаж:

$$[t_{\text{окончание.слива}}, t_{\text{начало.слива}}] \in \{t_j^{\text{мин.нагрузка}_0}, t_j^{\text{мин.нагрузка}_1}\} : \min(v_j^{\text{сред.объем.продаж}}(t)), priority_j \neq 0 \quad (11)$$

5.б) Закрепление за каждым заказом транспортного средства, формирование рейса бензовоза, маршрута движения и определение времени исполнения (времен начала и окончания рейса). В случае недозагрузки секции(й) бензовоза заказами с одной АЗС, выполняется дозагрузка заказами с близких АЗС. Проверка ограничений по кратности секций бензовозов к объему перевозки (секция у бензовоза заполняется полностью на НБ и сливается полностью в 1 емкость на АЗС):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{g=1}^r \sum_{h=1}^s v(p)_{gh} \quad (12)$$

где  $r$  - количество рейсов в плане;  $s$  - количество секций у бензовоза;  $p$  - задействованный в перевозке бензовоз;  $v(p)$  - объем секции бензовоза, выбранной для полного или частичного удовлетворения потребности  $x_{ij}$ .

Этап 6 – проверка плана специалистом по логистике диспетчером. Данный этап решает задачу проверки плана-графика экспертом на его выполнимость, корректность и реализуемость.

Этап 7 – ручная, автоматизированная или автоматическая корректировка плана развоза экспертом (диспетчером, ЛПР). Корректировка может применяться во внештатных ситуациях, связанных с задачами диспетчеризации, а также разрешения сложных ситуаций распределения заказов по транспортным средствам в ручном режиме. Данный этап позволяет полностью построить в ручном режиме диспетчеру полный план.

На рисунке 2.22 показана диаграмма поиска решения для ситуации

«Сломался бензовоз и у него есть рейсы со срочными заявками».

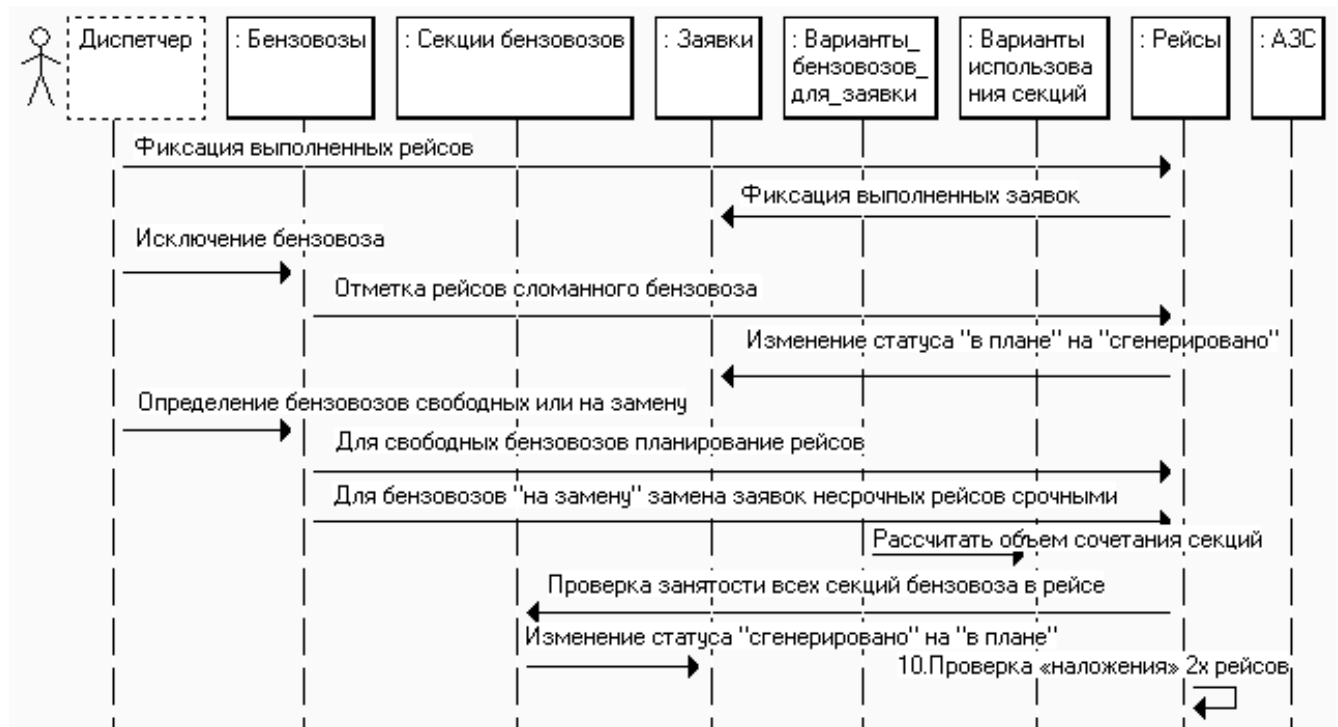


Рисунок 2.22 - Диаграмма поиска решения для ситуации «Сломался бензовоз и у него есть рейсы со срочными заявками»

На рисунке 2.23 показана диаграмма поиска решения для ситуации «Внеплановая остановка работы нефтебазы». Данная ситуация оказывает наибольшее влияние на изменение плана, если большая часть рейсов завязана на НБ, работа которой останавливается.

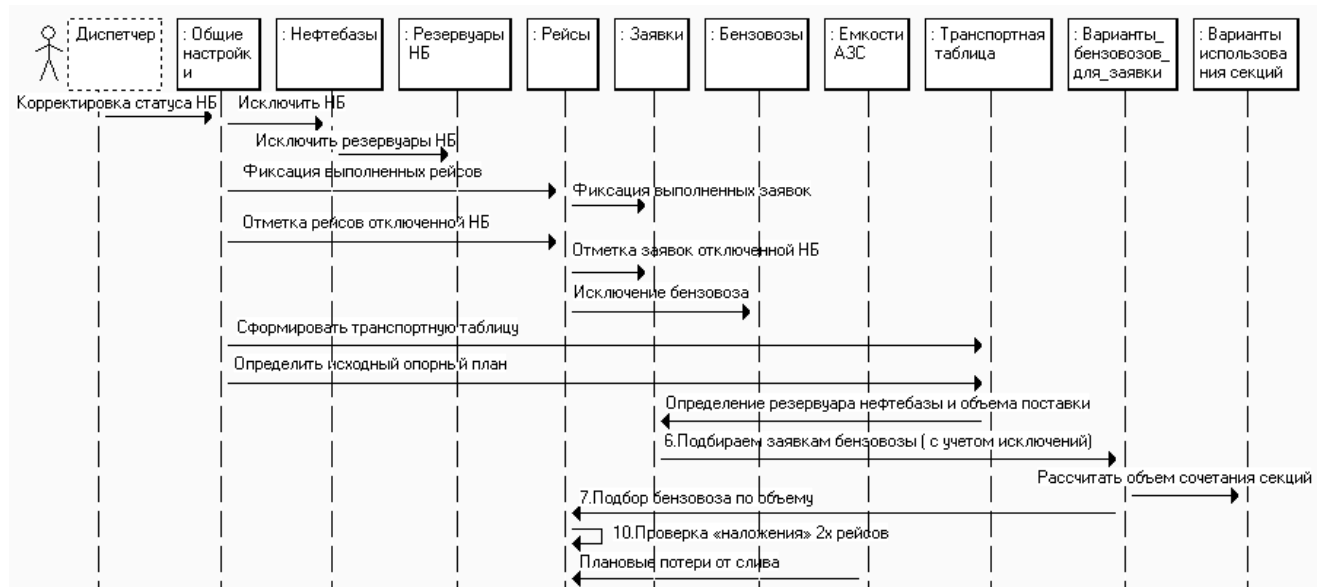


Рисунок 2.23 - Диаграмма поиска решения для ситуации «Внеплановая остановка работы нефтебазы»



Ситуации с внеплановой остановкой работы нефтебаз проявляются не часто, но имеют сильное влияние на процесс нефтепродуктообеспечения. Такие ситуации могут порождаться авариями и ремонтами электросетей, подъездных путей, внеплановыми учениями служб ГО и ЧС. В аварийных ситуациях диспетчеру сложно оценить время, необходимое на восстановление работы нефтебазы, что может приводить к срыву плана снабжения на текущую смену.

На рисунке 2.24 показана диаграмма поиска решения для ситуации «Появление срочной заявки». Данная ситуация может быть связана с обрывом связи, сбоями в работе серверов или программного обеспечения, которые в итоге приводят к несвоевременному получению актуальной информации об остатках в емкости(ях) АЗС. Также данная ситуация может быть связана со срочной заявкой от эквайера.

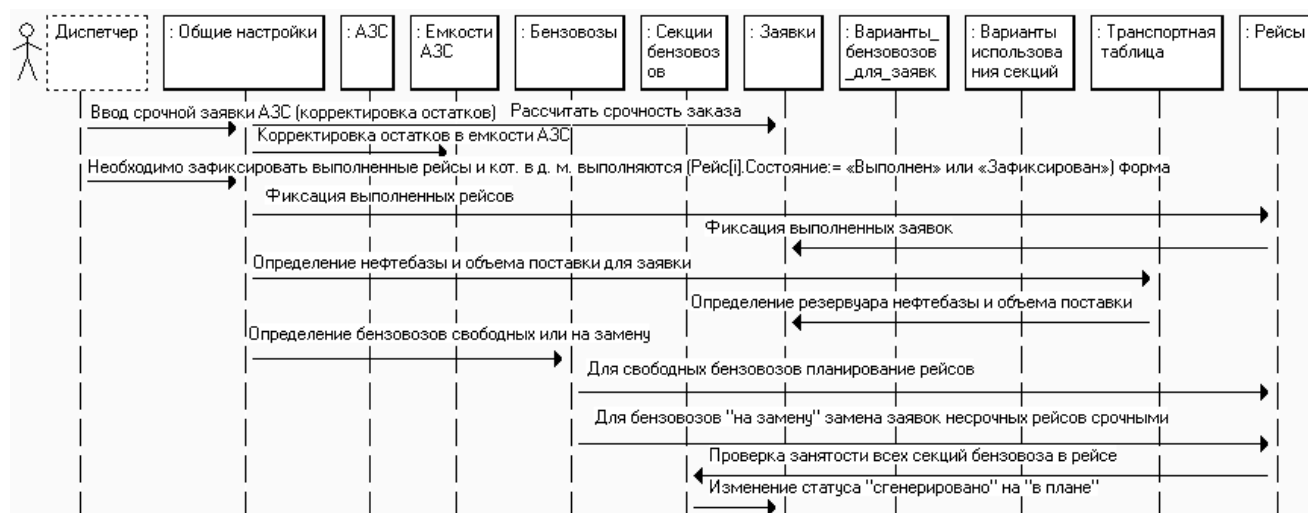


Рисунок 2.24 - Диаграмма поиска решения для ситуации «Появление срочной заявки»

Когда недостоверность об остатках в емкостях АЗС носит массовый характер, рекомендуется полное построение плана согласно всем этапам метода.

Этап 8- проводится уточнение плана-графика в результате его проигрывания в ходе имитационного эксперимента на мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов, рассмотренной в разделе 2.2.

Узкие места – места погрузки и разгрузки на АЗС и НБ. Теоретическая основа метода анализа узких мест – операционный анализ вероятностных сетей. Отрицательным узким местом может выступать АЗС в следующих ситуациях: 1) когда в емкости заканчивается топливо и АЗС становится «сухой»; 2) при

наличии спроса (например, в час пик) прибывает бензовоз для пополнения АЗС и в период слива топлива АЗС не обслуживает клиентов. Узкие места проявляются в виде очередей бензовозов на нефтебазах.

В результате работ по оптимизации алгоритма имитатора системы динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS в алгоритм обработки агентов (рисунок 2.25) в их структуру были добавлены **правила «глобального условия»** и соответствующий признак, что позволило «отсеивать» правила агентов, которые для них являются второстепенными и требуют проверки в случае выполнения правила «глобального условия».

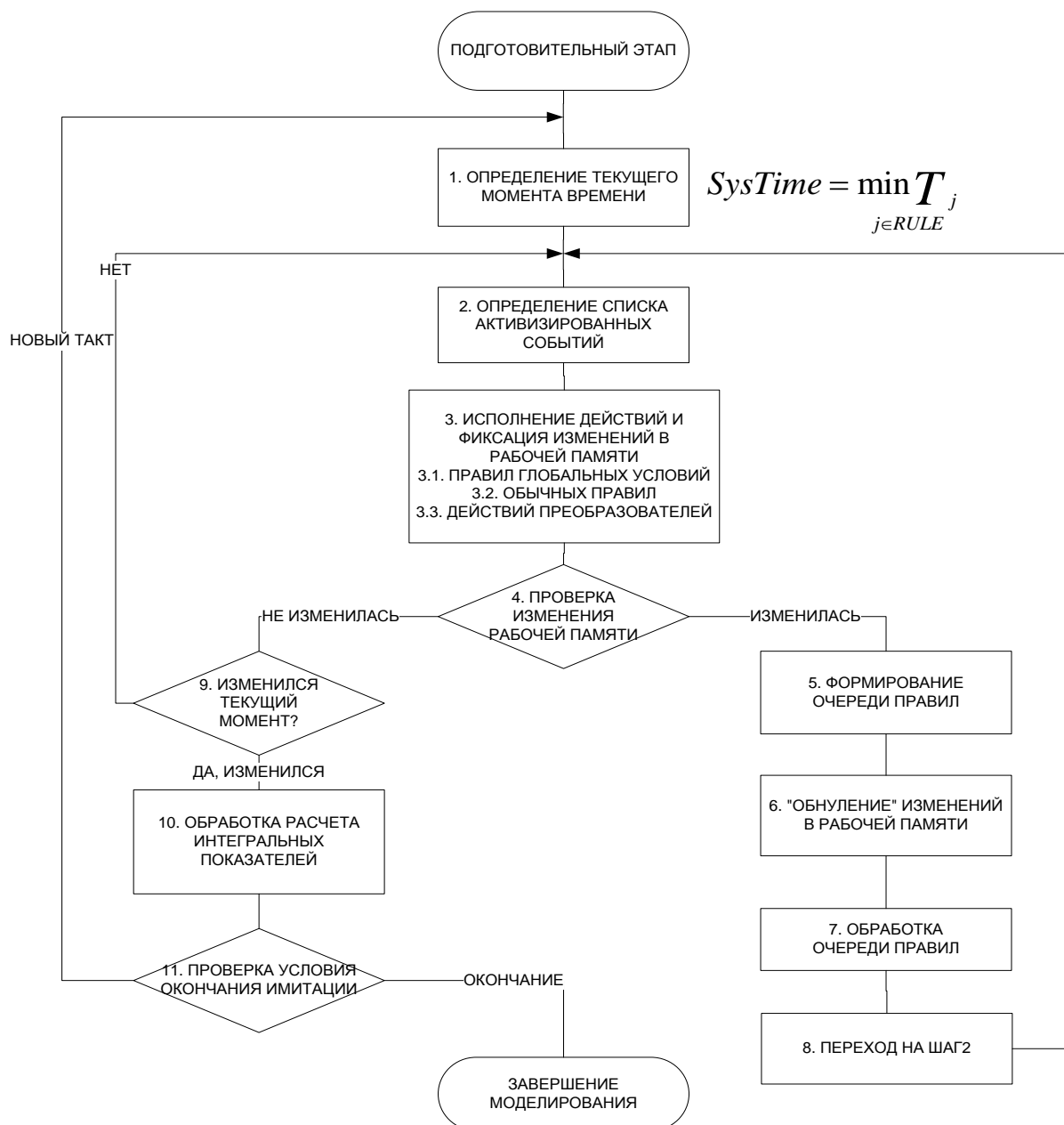


Рисунок 2.25 - Модернизированный алгоритм имитационного моделирования МППР

Был проведен эксперимент, по оценке скорости работы модели с оптимизированным и старым алгоритмом, результаты представлены в главе 3 (на рисунке 3.22). ***В результате модернизации алгоритма добились ускорения работы модели в 4,58 раз.*** Параметры рабочего компьютера 2.13 ГГц IntelCore™ 2 CPU, 2 GB ОЗУ.

Таким образом, предложенный метод совмещенного распределения заказов по поставщикам и транспортным средствам позволяет комплексно решать задачу построения плана развоза топлива по сети автозаправочных станций. Метод также обеспечивает возможность выбора наиболее приемлемых в текущей ситуации вариантов назначения транспортных средств в зависимости от их состояния, а также построение изменений схемы поставок в случае возникновения непредвиденных ситуаций (поддержку режима диспетчеризации).

Этапы 2-7 реализуются на основе фреймовой машины логического вывода в планирующей подсистеме «Планировщик» (программно реализованной в системе поддержки принятия решений BPsim.DSS), 8-й этап реализуется в имитационной мультиагентной модели (программно реализованной в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS).

Агентам в мультиагентной системе будут соответствовать транспортные средства, логистические пункты (пункты погрузки и разгрузки - нефтебазы, АЗС, гаражи). Разрабатываемая автоматизированная система управления грузоперевозками будет решать следующие задачи: анализ потребностей в поставках топлива; планирование работы бензовозов (распределение грузов по транспортным средствам с учетом сроков доставки) с учетом технических особенностей и физических ограничений, как самих бензовозов, так и АЗС, ААЗС. Примером физического ограничения является длина бензовоза, так на большинство ААЗС в силу их компактности 3-х и более секционные бензовозы зайти не могут. Примером технического ограничения являются рукава бензовозов и сливные устройства емкостей АЗС, которые не всегда совпадают; анализ логистической цепи с учетом пропускной способности трасс, очередей на нефтебазах, действующего парка бензовозов и статистики продаж.

В модели МППР общей базы знаний (БЗ) является совокупность тактической БЗ, хранящей продукционные правила агента, и стратегической БЗ (фреймы). Гибридная архитектура агента МППР реализована на основе интеграции динамической мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов и мультиагентной подсистемы «Планировщик». На блок-схеме рисунок 2.26 показано взаимодействие ядра имитационного моделирования и мультиагентной подсистемы в ходе работы гибридного агента.

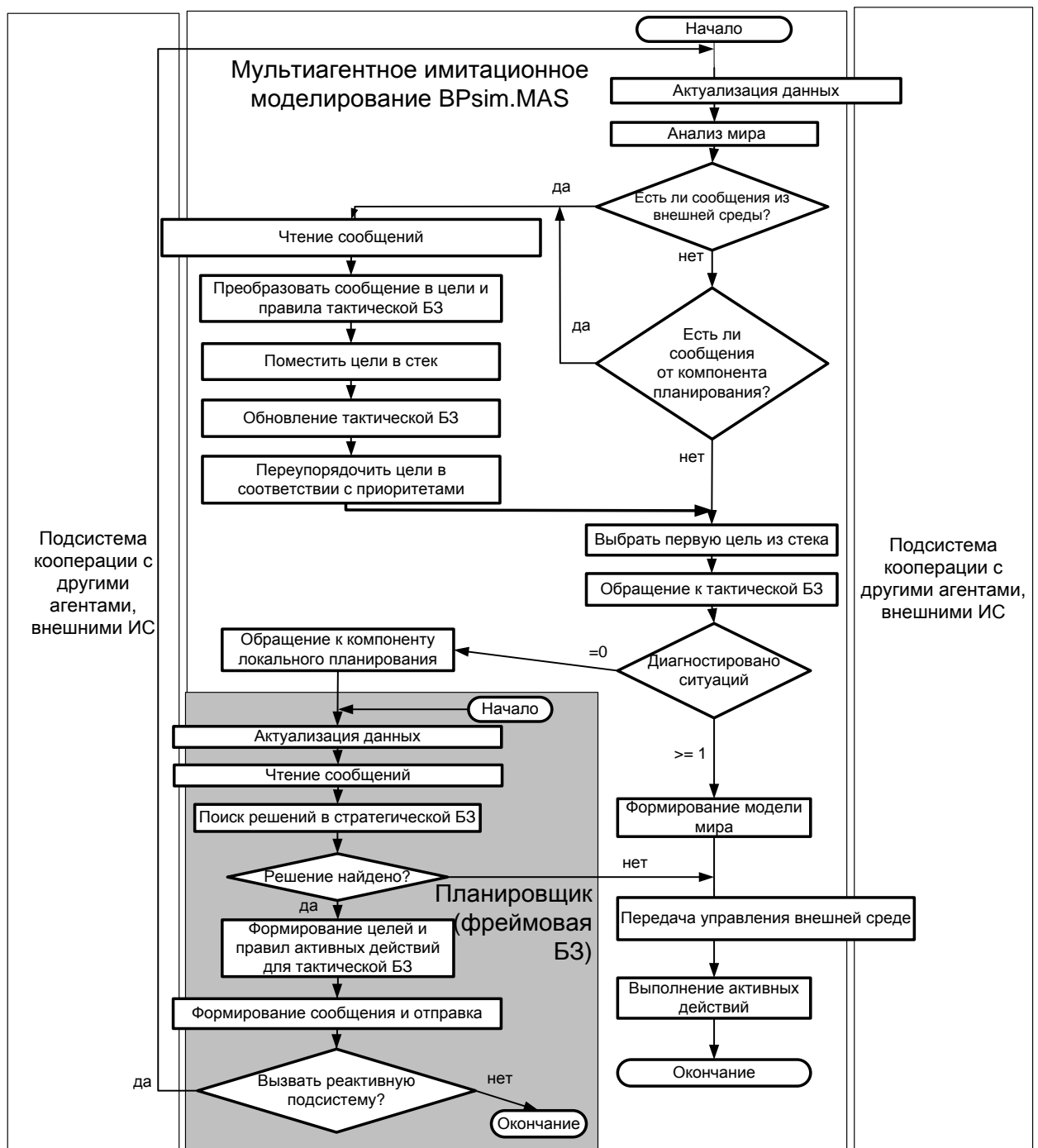


Рисунок 2.26 - Блок-схема работы гибридного агента

Каждая составляющая (мультиагентная и имитационная) могут работать независимо. Для задачи планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС доминирующей является мультиагентная составляющая (Планировщик).

*Главным критерием успешности решения задачи является – обеспечение бесперебойной работы сети АЗС. Даже если прибыль будет максимальна в рисковом варианте, он отсеивается, так как перебой или сбой в работе АЗС может вызывать отток (потерю) клиентов как самой АЗС, так и всей сети в последующем.*

В работе Жанчивын Оюунгэрэл[96] описана разработка оптимального плана доставки нефтепродуктов. Оптимизация плана проведена при ограничениях на грузоподъемность транспортных средств и длину маршрута на основе задачи коммивояжера и работ [97-99]. Результаты сравнения данного подхода и нового метода представлены в таблице 2.20.

Подход [96] обладает следующими ограничениями:

- 1) каждый клиент обслуживается только одним маршрутом;
- 2) рассмотрен 1 вид груза;
- 3) решается задача подбора грузоподъемности транспортных средств и оптимального их количества, однако грузоподъемность всех транспортных средств одинакова в одном эксперименте;
- 4) один склад (нефтебаза);
- 5) длительность смены не ограничена по времени;
- 6) допустимо частичное заполнение бензовоза нефтепродуктами (секций), что противоречит технике безопасности, хотя о секционности бензовозов не говорится;
- 7) планирование маршрута выполняется без учета срочности поставок, ограничений по наполняемости секций бензовозов.

Таблица 2.20 - Сравнение методов планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС

Параметр сравнения	Метод Жанчивын Оюунгэрэл [96]	Новый метод
1. Ограничение на грузоподъемность транспортных средств	+	+
1.1. Грузоподъемность транспортных средств одинакова	+	+
1.2. Грузоподъемность транспортных средств разная	Нет	+
1.3. Есть секции у транспортных средств	Нет	+
1.4. Частичное заполнение секции не допустимо	Нет	+
2. Возможность обслуживания нескольких АЗС в одном маршруте (рейсе)	+	+
2.1. Каждый клиент обслуживается только одним маршрутом	+	Нет
3. Количество видов нефтепродуктов	1	N
4. Спрос клиентов (потребности АЗС)	постоянный	переменный
5. Ограничение по времени смены (плана)	Нет	+
6. Учет почасовой статистики продаж	Нет	+
7. Решение задачи планирования маршрута	+	+
8. Поддержка задачи диспетчеризации	Нет	+
9. Количество складов (нефтебаз)	1	M

В настоящее время на сети АЗС может реализовываться с десятков различных видов топлив; потребности одной АЗС могут обеспечиваться с нескольких складов (НБ), что нарушает ограничение по одному маршруту для 1 клиента; на отдельных АЗС имеется до 7-8 емкостей, а количество в среднем секций у современных бензовозов 2-4, что тоже нарушает ограничение по 1 маршруту. Применение ААЗС также зачастую не позволяет вводить данное ограничение, в связи с тем, что емкости ААЗС меньше чем у стационарных и их нефтепродуктообеспечение часто требует двух поставок за смену (в начале и в конце смены). Таким образом, новый гибридный метод планирования нефтепродуктообеспечения сети АЗС является более гибким и отвечает требованиям предметной области.

## 2.5. Выводы

1. Определены следующие требования к методу планирования развоза по сети автозаправочных станций:

1) динамическое моделирование процессов логистической цепи:

- различные типы ресурсов, заявки, очереди заявок, конфликты на ресурсах;
- учет времени, расстояний;
- анализ узких мест;

2) составление плана перевозок:

- распределение заказов по транспортным средствам;
- учет предпочтений (эвристик) диспетчеров и специалистов по логистике;

3) поддержка полного цикла управления:

- реакция на внешнее событие;
- планирование / диспетчеризация.

2. Для решения задачи планирования развоза топлива по сети АЗС выявлены ограничения использования транспортной задачи, которые заключаются в следующем: 1) кратность объема перевозки груза должна быть кратна объему секции; 2) грузы не являются однородными и каждый груз (в зависимости от вида топлива) может транспортироваться в одной секции бензовоза; 3) не учитывается последовательность слива топлива бензовозом (в зависимости от конструктивных особенностей сливных устройств очередность слива секций может отличаться); 4) отсутствует составляющая времени в виде времен начала и окончания рейсов, времен погрузки/разгрузки; 5) отсутствует разделение на виды грузов или их маркировка (виды топлива (например, 92, 95, 98, Дт, 80); 6) не учитывается наличие у бензовоза нескольких секций; 7) не учитываются физические ограничения и предпочтения бензовозов по обслуживанию АЗС; 8) не учитывается возможность обслуживания близких АЗС одним бензовозом за рейс.

3. Проведен анализ мультиагентных подходов, используемых в задачах моделирования, анализа и управления цепями поставок: 1) сети потребностей и

возможностей В.А. Виттиха и П.О. Скобелева, Г.А. Ржевского; 2) мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов; 3) модель активных и пассивных преобразователей Б.И. Клебанова и И.М. Москалева; 4) подход А.В. Борщева, Ю.Г. Карпова, реализованный в системе AnyLogic. Наиболее близкими методами к решаемой задаче выявлены ПВ-сети и МППР.

4. Экспериментально исследована возможность построения динамической мультиагентной модели сети АЗС с использованием подходов ПВ-сети и МППР. Модель, реализованная с использованием подхода МППР демонстрирует более эффективное решение задачи моделирования развоза топлива, как по объемам перевозок (в среднем выше на 13%), так и по меньшим вычислительным затратам (в среднем в 3,4 раза). Показано, что разработанная модель сети АЗС согласно подходу МППР является адекватным математическим описанием объекта моделирования и служит основой для построения алгоритмов и программ при машинной реализации модели.

5. Проведен анализ моделей представления знаний. Обоснован выбор совместного использования в модели МППР фреймов и продукций.

6. Разработан метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций на основе интеграции транспортной задачи, мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов. Применительно к модели МППР расширена модель реактивно-интеллектуального агента правилами глобальных условий и модернизирован алгоритм машины вывода-имитатора для ситуационно-имитационного моделирования, который учитывает специфику МППР и минимизирует вычисления.

6. Проведено сравнение нового метода и метода Жанчивын Оюунгэрэл, которое демонстрирует преимущество нового метода, а для метода разработки оптимального плана определены следующие недостатки: 1) каждый клиент обслуживается только одним маршрутом; 2) рассмотрен 1 вид груза; 3) грузоподъемность всех транспортных средств одинакова; 4) один склад (нефтебаза); 5) длительность смены не ограничена по времени; 6) планирование маршрута выполняется без учета срочности поставок, ограничений по



наполняемости секций бензовозов. Таким образом, обоснована разработка нового метода.

7. Полученные теоретические результаты (метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС) позволяют реализовать ПО, которое относится к классу интеллектуальных систем, которое использует методы численного, имитационного и мультиагентного моделирования.

### 3. Разработка, тестирование и отладка метода гибридного имитационного моделирования процессов логистики на основе интеллектуальной системы планирования

#### 3.1. Структура интеллектуальной системы планирования

СППР, реализующая метод гибридного имитационного моделирования процессов логистики построена на основе интеграции систем «Планировщик», BPsim.MAS и BPsim.DSS.

Сеть предприятия состоит из АЗС и ААЗС. Основные параметры модели:

1. Количество узлов (блоков модели) всего 179 (в том числе 59 операций и 120 интеллектуальных агентов). Общее количество правил агентов 941.
2. Количество ресурсов 703. Количество динамических заявок: бензовозов - 12. Количество динамических заявок на развоз менялось в зависимости от ситуации.

Перед началом планирования специалист по логистике задает основные параметры задачи (рисунок 3.1).

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Параметры" (Parameters). It contains the following fields and controls:

- Кол-во дней, на которое должно хватить топлива**: A numeric input field with the value "3,00" and a spinner icon.
- Дата**: A date input field showing "21.07.2011" and a calendar icon.
- Время начала смены**: A time input field showing "7:30:00" and a spinner icon.
- План**: A text input field containing the word "новый".
- Кол-во дней до следующего развоза**: A numeric input field with the value "2,00" and a spinner icon.
- Ср. скорость движения бензовозов, км/ч**: A numeric input field with the value "60,00" and a spinner icon.
- Стратегия развоза**: A section on the right with five dropdown menus:
  - АИ-98: Минимум
  - АИ-95: Под горло
  - АИ-92: Под горло
  - АИ-76: Минимум
  - ДТ: Под горло
- Учет пиков**: A checked checkbox.
- Далее>>**: A button at the bottom right.

Рисунок 3.1 - Форма параметров задачи планирования

Входными данными задачи являются остатки топлива на АЗС и состояние парка бензовозов. После завершения работы алгоритма планирования пользователь может скорректировать план. Далее план экспортируется в модуль имитационного моделирования и корректируется по результатам имитационного эксперимента. В имитационной модели по каждой емкости АЗС отслеживаются остатки и динамика потребления топлива.

Поступающие события с объекта управления обрабатываются в блоке диагностики ситуаций, на основе результата работы данного блока принимается решение о корректировке плана (не корректировать, корректировать частично, корректировать полностью). Примерами ситуаций являются следующие: сломался бензовоз, появился новый бензовоз, не работает нефтебаза, появился новый заказ. Структура СППР представлена на рисунке 3.2.

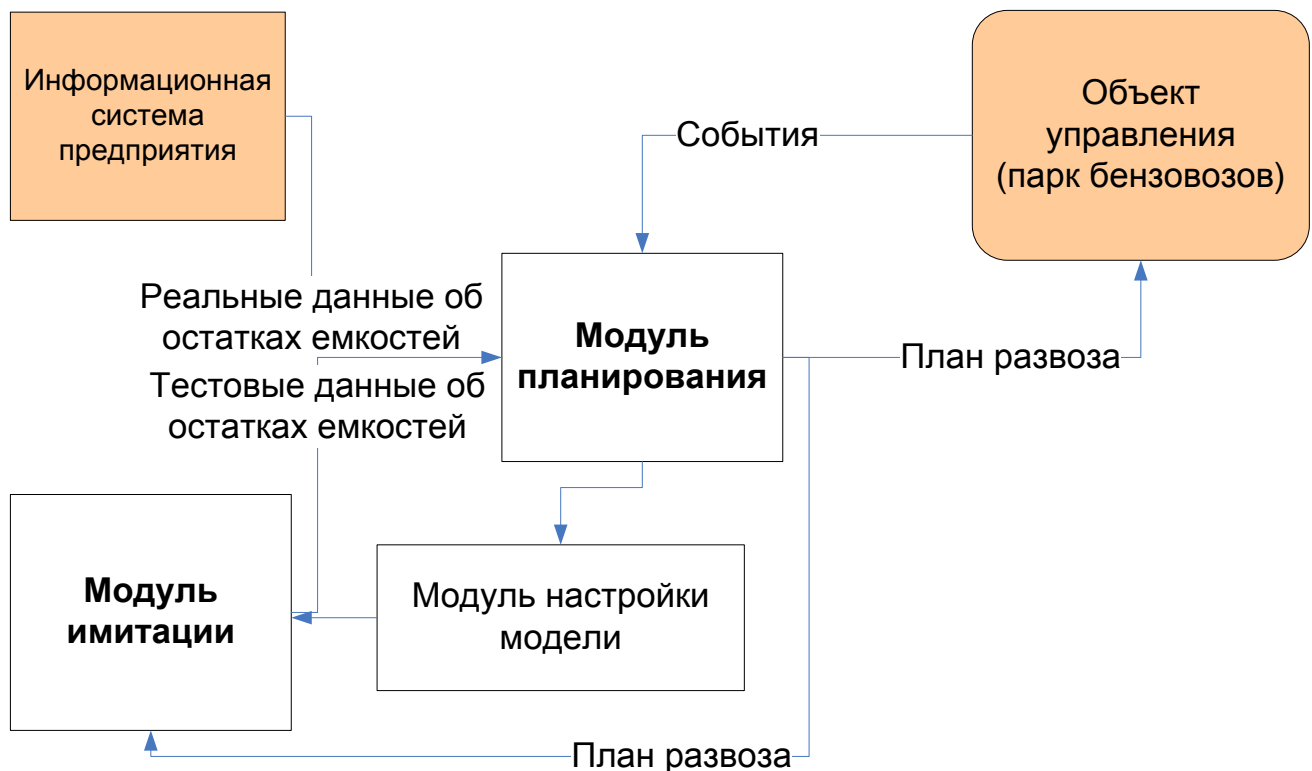


Рисунок 3.2 - Структура СППР

В качестве модуля имитационного моделирования используется BPsim.MAS, который выполняет следующие функции:

- 1) подготовка тестовых данных для модуля планирования;
- 2) проверка плана, полученного в модуле планирования "Планировщик" на

имитационной модели, а также прогнозирование и оценка ситуаций на объекте управления.

Проектирование концептуальной модели предметной области (фреймовой БЗ) агента (модуля) планирования выполнено в BPsim.DSS (рисунок 3.3).

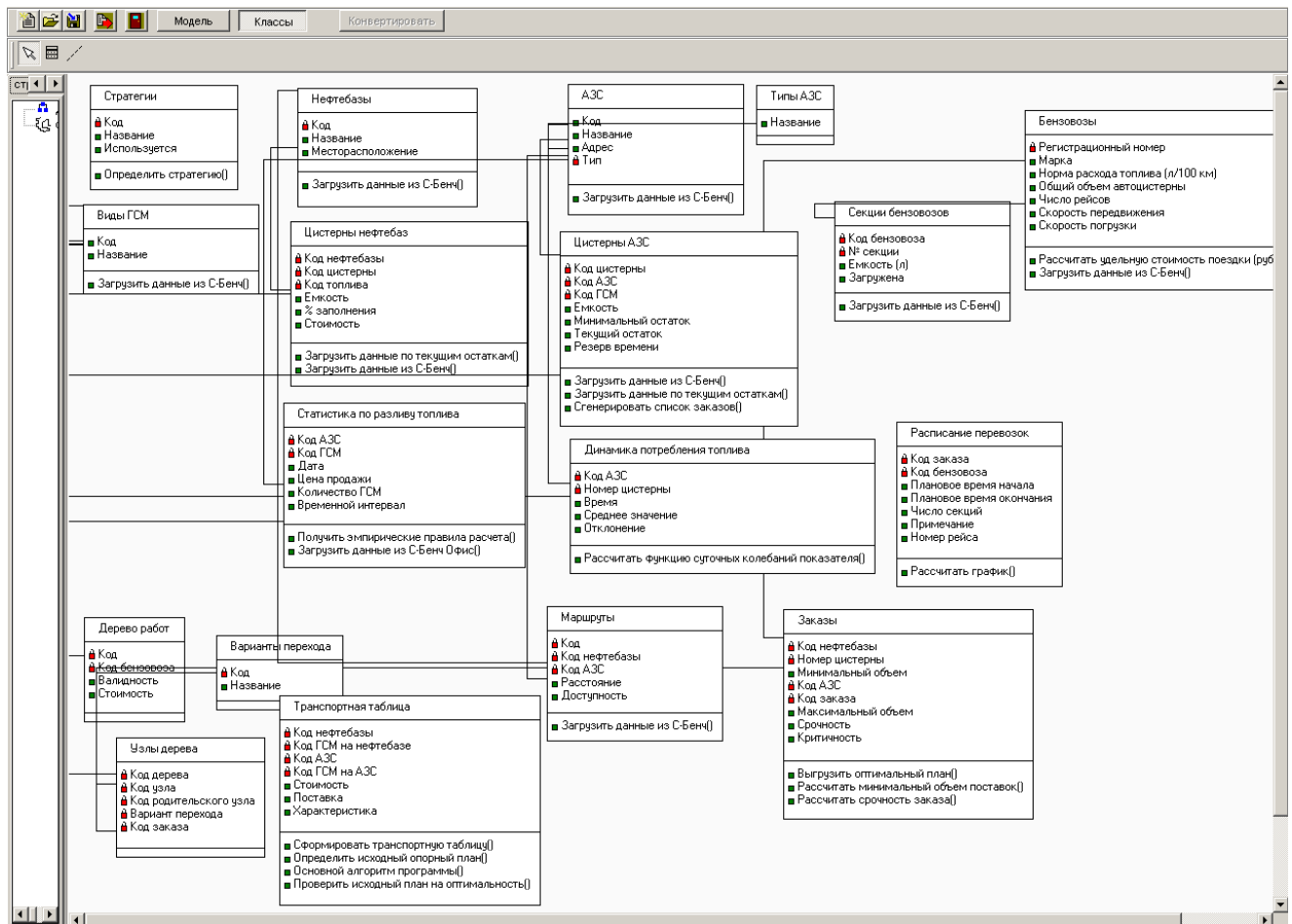


Рисунок 3.3 - Фрагмент концептуальной модели предметной области для задачи нефтепродуктообеспечения сети АЗС

Логика интеллектуального агента "Планировщик" была реализована средствами BPsim.DSS (диаграммы поиска решений) и с использованием языка Transact SQL. Визуальный интерфейс "Планировщика" реализован средствами Delphi и позволяет диспетчеру/ЛПР решать задачи планирования и диспетчеризации, как в ручном, так и автоматическом режиме. Внешний вид "Планировщика" представлен на рисунке 3.4.

**Основная форма**

Общие Данные

Фильтр: 27.11.2012 Все АЗС Все виды топлива

**1 Информация по остаткам на АЗС**

АЗС	Топливо	27.11	Ср. расход	Макс. расход	Остаток (л)	Остаток (дн)	Емкость	Входит
2 АЗС №2 Реж	92(1)	8000	8000	8000	12708	1,46	23097	10389
2 АЗС №2 Реж	95(2)	3200	3200	3200	12508	3,6	14222	1714
2 АЗС №2 Реж	76(3)	430	430	430	9048	18,72	14418	5370
2 АЗС №2 Реж	Дт(4)	2200	2200	2200	11270	4,67	15954	4584
2 АЗС №2 Реж	98(5)	0	0	0	0	0	0	0
3 АЗС №3 Шерская	92(1)	7000	7000	7000	14039	1,86	25430	11391
3 АЗС №3 Шерская	95(2)	5500	5500	5500	19963	3,45	25679	5716
3 АЗС №3 Шерская	76(3)	500	500	500	12830	23,86	27877	15047
3 АЗС №3 Шерская	Дт(4)	7000	7000	7000	16380	2,28	25676	8636
3 АЗС №3 Шерская	92(5)	5000	5000	5000	18607	3,52	25695	7088
5 АЗС №5 Полевской Конюшис	92(1)	7700	7700	7700	13850	1,67	26415	12565
5 АЗС №5 Полевской Конюшис	Дт(2)	1050	1050	1050	18820	16,37	26268	7448
5 АЗС №5 Полевской Конюшис	95(3)	3180	3180	3180	8150	2,25	11061	2911
7 АЗС №7 Н.Тагил	76(1)	265	265	265	27507	100,03	35538	8031
7 АЗС №7 Н.Тагил	Дт(2)	485	485	485	14905	28,67	37561	22656
7 АЗС №7 Н.Тагил	92(3)	1350	1350	1350	7909	5,12	35790	27881
7 АЗС №7 Н.Тагил	92(4)	1810	1810	1810	18112	9,45	36066	17954
7 АЗС №7 Н.Тагил	95(5)	950	950	950	14465	14,17	37723	23258
7 АЗС №7 Н.Тагил	98(6)	100	100	100	3549	25,49	36095	32546
8 АЗС №8 Полевской Магистрал	76(1)	500	500	500	4517	7,03	9677	5160
8 АЗС №8 Полевской Магистрал	Дт(2)	960	960	960	9151	8,49	14185	5034
8 АЗС №8 Полевской Магистрал	92(3)	4500	4500	4500	5930	1,1	14147	8217
8 АЗС №8 Полевской Магистрал	95(4)	1300	1300	1300	5278	3,29	9316	4038
10 АЗС №10 Шерская 2	95(1)	0	0	0	0	0	0	0
10 АЗС №10 Шерская 2	92(2)	0	0	0	0	0	0	0
10 АЗС №10 Шерская 2	76(3)	0	0	0	0	0	0	0
10 АЗС №10 Шерская 2	Дт(4)	0	0	0	0	0	0	0
10 АЗС №10 Шерская 2	Дт(5)	0	0	0	0	0	0	0
14 АЗС №14 г. Серов, Загородка 1	76(1)	860	860	860	14398	15,58	26008	11610
14 АЗС №14 г. Серов, Загородка 1	Дт(2)	1695	1695	1695	48398	27,96	54848	6450
14 АЗС №14 г. Серов, Загородка 1	92(3)	3075	3075	3075	22700	7,06	54511	31811
14 АЗС №14 г. Серов, Загородка 1	95(4)	700	700	700	8704	11,01	26233	17529
22 Мин АЗС №22 Автомагистрал	95(1)	1498	1498	1498	7230	4,16	0	0
22 Мин АЗС №22 Автомагистрал	92(2)	2915	2915	2915	12100	3,81	0	0

**2 Информация по остаткам на НБ**

Название	№	V(л)	на 27.11	Стратегия
Склад ГМ п. Лосиней	АИ-98	1	10000	под горло
Склад ГМ Шабы	АИ-95	1	64000	50001 под горло
Склад ГМ Архангельский	АИ-92	1	64000	40000 под горло
Склад ГМ Дровяное	АИ-92	2	90000	10000 под горло
Склад ГМ Баженово	ДТ	1	64000	20000 мненеги
ЗАО "СКОИ"	ДТ	2	90000	15500 мненеги
Склад ГМ Новинская				

**3 Информация по парку бензовозов**

№	Номер	Марка	Раск	Общий	сек 1	сек 2	сек 3	сек 4	сек 5	сек 6	Начало смены	итоговое вр
1	T926PM	КАМА-3-5411E	54	23343	7890	7798	7655					27.11.201
2	0106EH	КАМА-3	41	17212	8545	8667						27.11.201
3	M5330P	МА-3-5334	34,5	7860	7860						27.11.2012 6:00:00	27.11.201
4	P990TT	МА-3-533702	39,5	19665	6115	5040	8510				27.11.2012 6:00:00	27.11.201
5	T989KK	МА-3-5337	34,5	11060	11060						27.11.2012 6:00:00	
7	A344TO	МА-3-533702	37,5	11080	5915	5165					27.11.2012 6:15:00	
8	E289HU	ГАЗ-473897	25	4926	4926						27.11.2012 6:30:00	
9	A327TO	ГАЗ-473897	25	4908	4908						27.11.2012 6:30:00	27.11.201
10	K888AE	МА-3	37,5	11070	5905	5165					27.11.2012 6:30:00	27.11.201
11	K303AE	МА-3	37,5	11035	5855	5181					27.11.2012 6:30:00	
12	M893MX	МА-3-5336	39,5	19500	5950	5150	8500				27.11.2012 6:30:00	27.11.201
13	C035BE	МА-3	0	11070	5165	5905					27.11.2012 6:30:00	27.11.201
14	C704BE	с 704 вв КАМ	0	23353	7895	7798	7890				27.11.2012 6:00:00	
15	a700pe	КАМА-3	0	23242	7554	7798	7890				27.11.2012 6:00:00	
16	a708	МА-3	0	10980	5500	5480					27.11.2012 6:00:00	27.11.201
17	a706	МА-3	0	10927	5427	5500					27.11.2012 6:00:00	

Добавить Изменить Проставить старт. время

Остатки Заявки/полученный план Календари исключений АЗС+емкости Маршруты Пики потребления Планы развозов

Емкостей АЗС: 112 Бензовозов: 16 НБ: 7

Рисунок 3.4 - Пользовательский интерфейс диспетчера

На основной форме доступна информация об остатках топлива на АЗС и нефтебазах, парке бензовозов.

### 3.2. Переменные среды

Для описания имитационной модели в предметную область введены 3 вида заявок: «Бензовозы», «Заявка на поставку бензина», «Общие настройки». Структура заявок отображена на рисунках 3.5-3.6.

**Добавить заявку**

Наименование

Дополнительные параметры заявки -  
допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с наименованиями служебных параметров

Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID, Lock, No, Owner, Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx

Тип	Наименование	Описание
строковый	name	наименование
строковый	place	местонахождения бензовоза
числовой	cnt1	тек.кол-во в 1 секции бензовоза, л
числовой	cnt2	тек.кол-во в 2 секции бензовоза, л
числовой	cnt3	тек.кол-во в 3 секции бензовоза, л
числовой	f1	0-1 секция предназначена для реальной заявки z1, 1-под фикт.заявки, при стратегии под
числовой	f2	0-1 секция предназначена для реальной заявки z1, 1-под фикт.заявки, при стратегии под
числовой	f3	0-1 секция предназначена для реальной заявки z1, 1-под фикт.заявки, при стратегии под
числовой	nb	номер нефтебазы
числовой	p	количество секций 1/2/3
числовой	r	расстояние до целевой заправки
числовой	s	количество поездов
числовой	ss1	номер целевой емкости для 1 секции
числовой	ss2	номер целевой емкости для 2 секции
числовой	ss3	номер целевой емкости для 3 секции
числовой	step	шаг(итерация)
числовой	u	номер заправки
числовой	u1	номер АЗС для 1 секции
числовой	u2	номер АЗС для 2 секции
числовой	u3	номер АЗС для 3 секции
числовой	uu1	вид топлива-1 секция
числовой	uu2	вид топлива-2 секция
числовой	uu3	вид топлива-3 секция
числовой	v1	объем 1 секции бензовоза, м3
числовой	v2	объем 2 секции бензовоза, м3
числовой	v3	объем 3 секции бензовоза, м3
числовой	x	порядковый номер бензовоза

Применить Отмена

Рисунок 3.5 - Структура заявки «Бензовозы»

**Добавить заявку**

Наименование:

Дополнительные параметры заявки -  
 допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с  
 наименованиями служебных параметров  
 Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID,  
 Lock, No, Owner, Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx

Тип	Наименование	Описание
строковый	benz	бензовоз, обрабатывающий заявку
числовой	CntMax	максимум потребности, л
числовой	CntMin	минимум потребности, л
числовой	cntPlan	количество плановое
числовой	Critic	момент достижения минимума
числовой	ss	номер целевой емкости на АЗС
числовой	step	шаг(итерация)
числовой	u	номер заправки
числовой	uu	виды топлива: 1 - Аи-98; 2 - Аи-95; 3 - Аи-92; 4 - Аи-76; 5 - Аи-72
числовой	x	номер бензовоза

Применить Отмена

а) Структура заявки на поставку топлива

**Добавить заявку**

Наименование:

Дополнительные параметры заявки -  
 допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с наименованиями  
 служебных параметров  
 Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID, Lock, No, Owner,  
 Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx

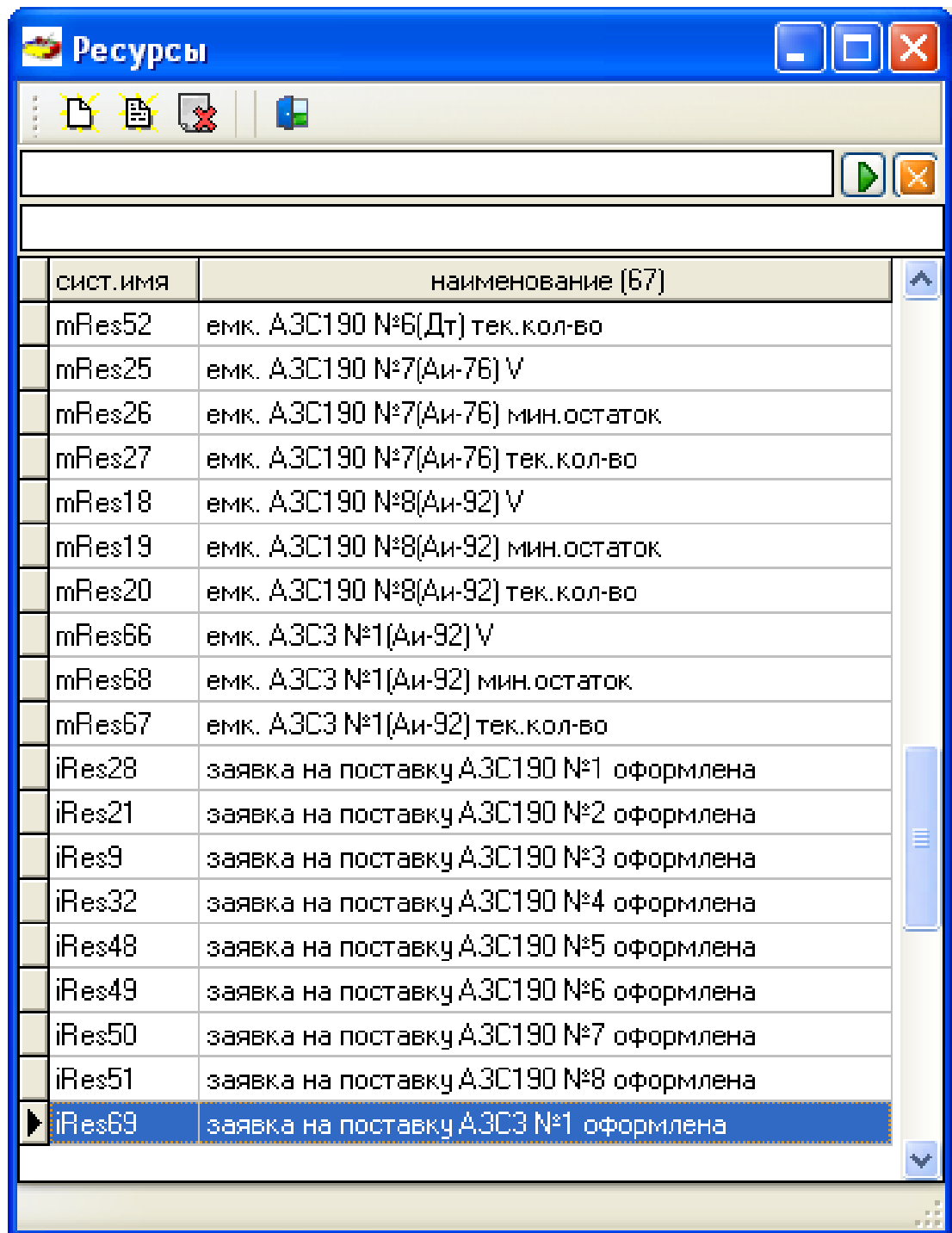
Тип	Наименование	Описание
числовой	strateg	стратегия проигрывания: 1-под горло, 0 - минимум на АЗС и складах
числовой	strateg1	стратегия проигр-я (Аи-98): 0-стратегия минимум, 1-под горло
числовой	strateg2	стратегия проигр-я (Аи-95): 0-стратегия минимум, 1-под горло
числовой	strateg3	стратегия проигр-я (Аи-92): 0-стратегия минимум, 1-под горло
числовой	strateg4	стратегия проигр-я (Аи-76): 0-стратегия минимум, 1-под горло
числовой	strateg5	стратегия проигр-я (Дт): 0-стратегия минимум, 1-под горло

Применить Отмена

б) структура заявки «общие настройки»

Рисунок 3.6 - Структура заявок на поставку топлива (а) и «общие настройки» (б)

Остальные переменные, в частности показатели емкостей АЗС, сведены в таблицу ресурсов (рисунок 3.7).



сист.имя	наименование (67)
mRes52	емк. АЗС190 №6(Дт) тек.кол-во
mRes25	емк. АЗС190 №7(Аи-76) V
mRes26	емк. АЗС190 №7(Аи-76) мин.остаток
mRes27	емк. АЗС190 №7(Аи-76) тек.кол-во
mRes18	емк. АЗС190 №8(Аи-92) V
mRes19	емк. АЗС190 №8(Аи-92) мин.остаток
mRes20	емк. АЗС190 №8(Аи-92) тек.кол-во
mRes66	емк. АЗС3 №1(Аи-92) V
mRes68	емк. АЗС3 №1(Аи-92) мин.остаток
mRes67	емк. АЗС3 №1(Аи-92) тек.кол-во
iRes28	заявка на поставку АЗС190 №1 оформлена
iRes21	заявка на поставку АЗС190 №2 оформлена
iRes9	заявка на поставку АЗС190 №3 оформлена
iRes32	заявка на поставку АЗС190 №4 оформлена
iRes48	заявка на поставку АЗС190 №5 оформлена
iRes49	заявка на поставку АЗС190 №6 оформлена
iRes50	заявка на поставку АЗС190 №7 оформлена
iRes51	заявка на поставку АЗС190 №8 оформлена
iRes69	заявка на поставку АЗС3 №1 оформлена

Рисунок 3.7 - Справочник ресурсов модели сети АЗС

Перед началом планирования и моделирования идет синхронизация значений переменных модели с текущими значениями параметров корпоративной информационной системы. В процессе имитации некоторые значения остаются неизменными, другие же переменные постоянно изменяют свои значения.



### 3.3. Структура мультиагентной имитационной модели сети АЗС

На верхнем уровне (рисунок 3.8) представлена укрупненная структура модели, состоящая из нескольких ключевых узлов. Некоторые из узлов декомпозированы (имеют сложную структуру).

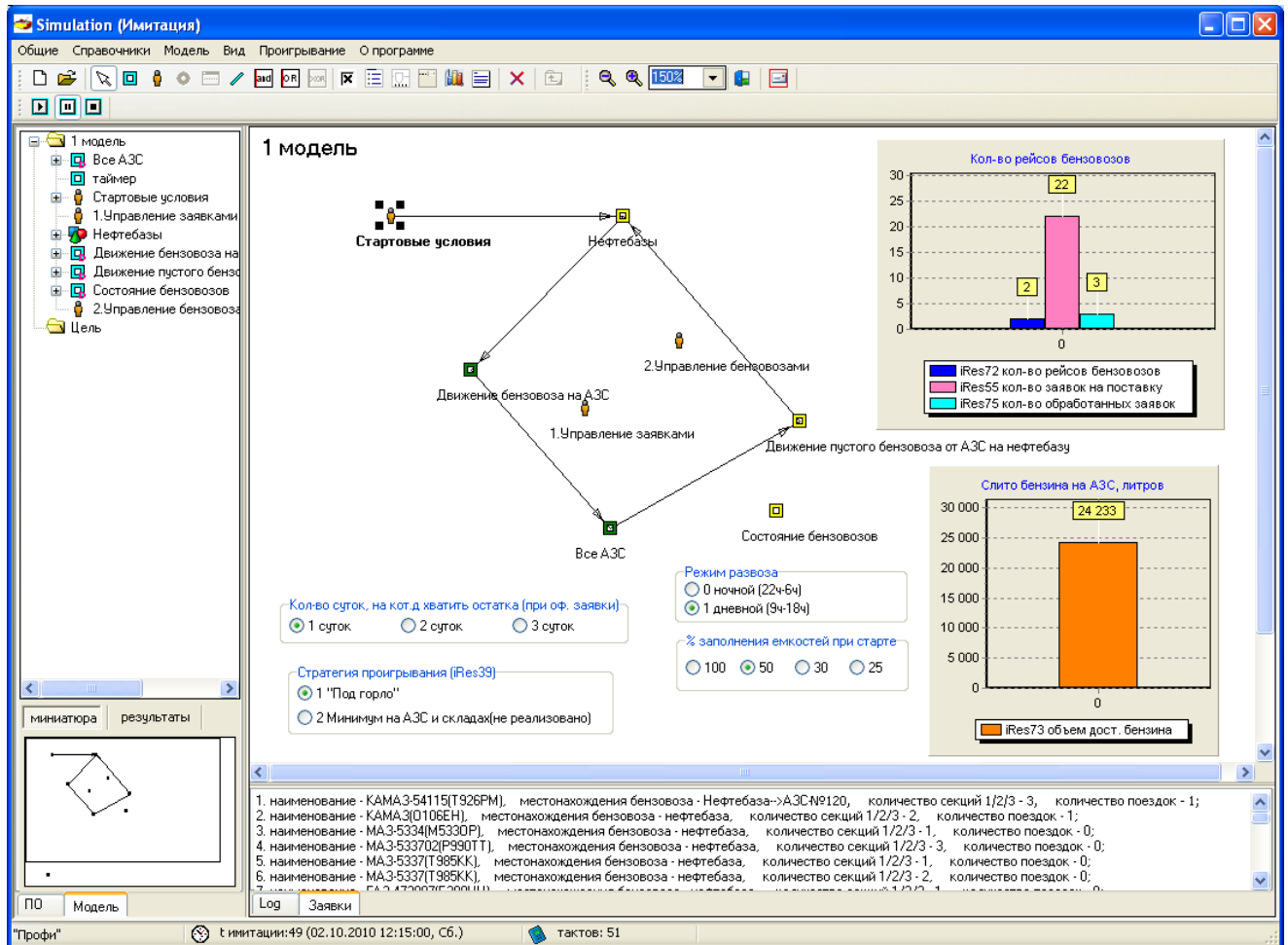


Рисунок 3.8 - Верхний уровень модели

Некоторые блоки декомпозированы, и их детальное описание представлено на следующих уровнях модели. Так Блок «Все АЗС» декомпозирован по числу АЗС (рисунки 3.9-3.10).

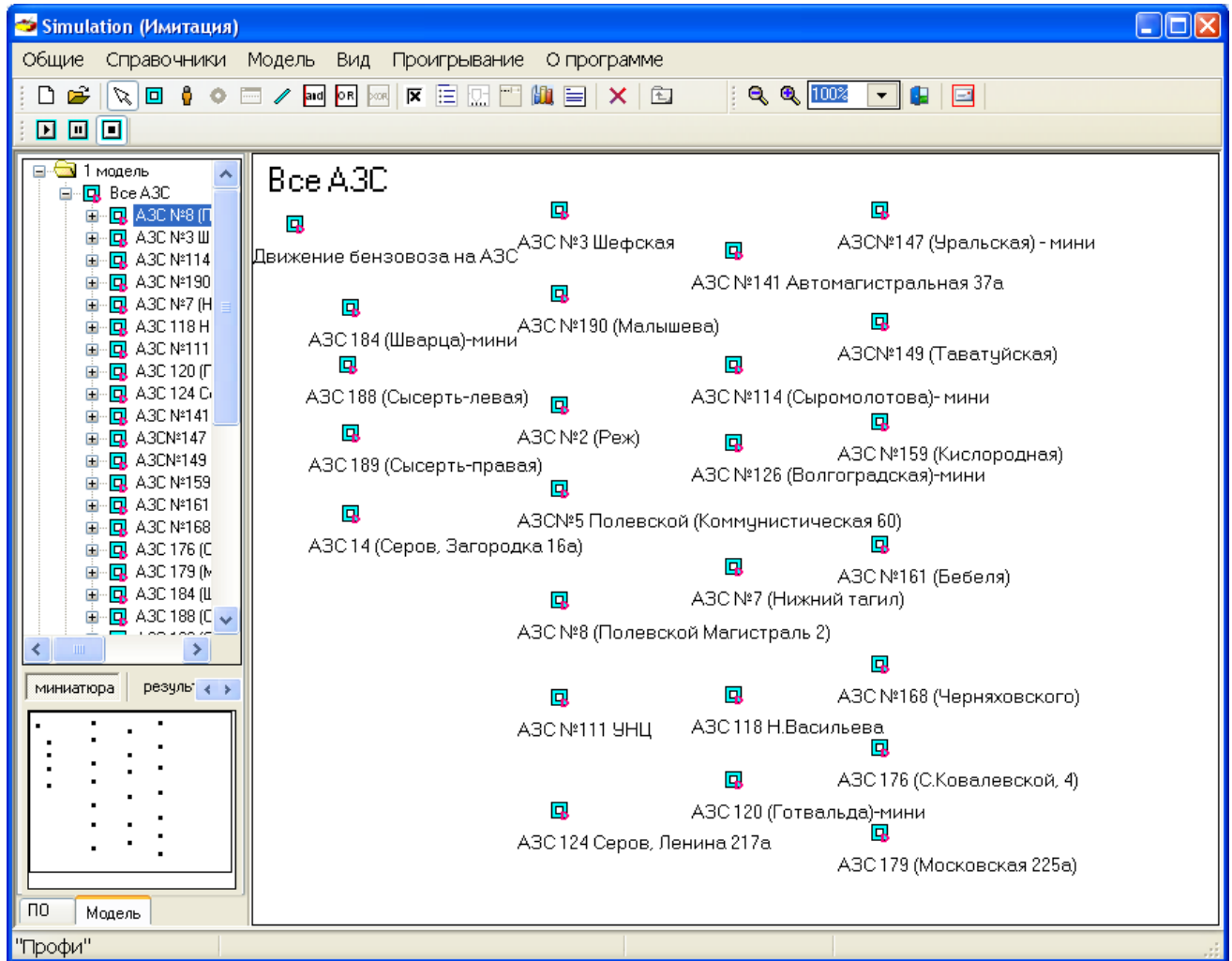


Рисунок 3.9 - Блоки АЗС

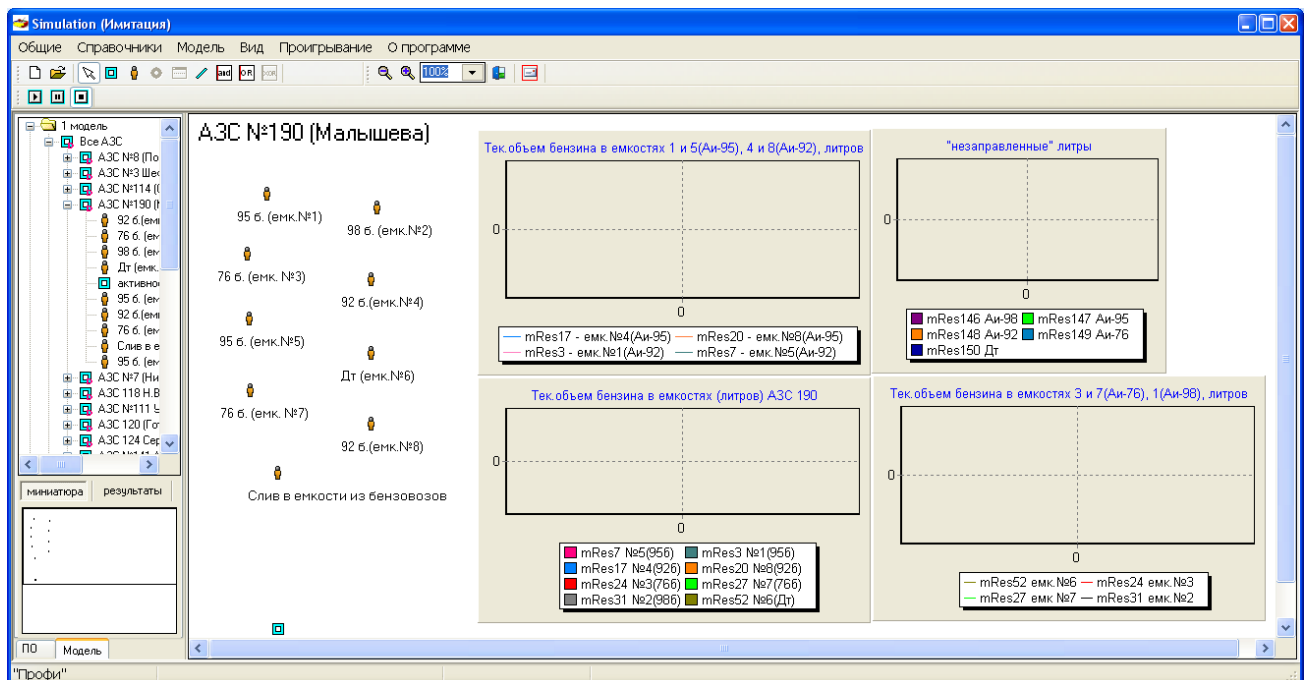


Рисунок 3.10 -Уровень модели «АЗС №190 (Малышева)

Блок «Нефтебазы» имитирует деятельность только основной нефтебазы, находящейся в п.Лосиный (рисунок 3.11), так как по ней известны остатки топлива. Деятельность модели в этой части сводится к имитации заправки (слива) топлива из пяти имеющихся резервуаров (при условии незанятости в данный момент) в емкости бензовозов. По данной нефтебазе задается параметр "количество одновременно заправляемых бензовозов".

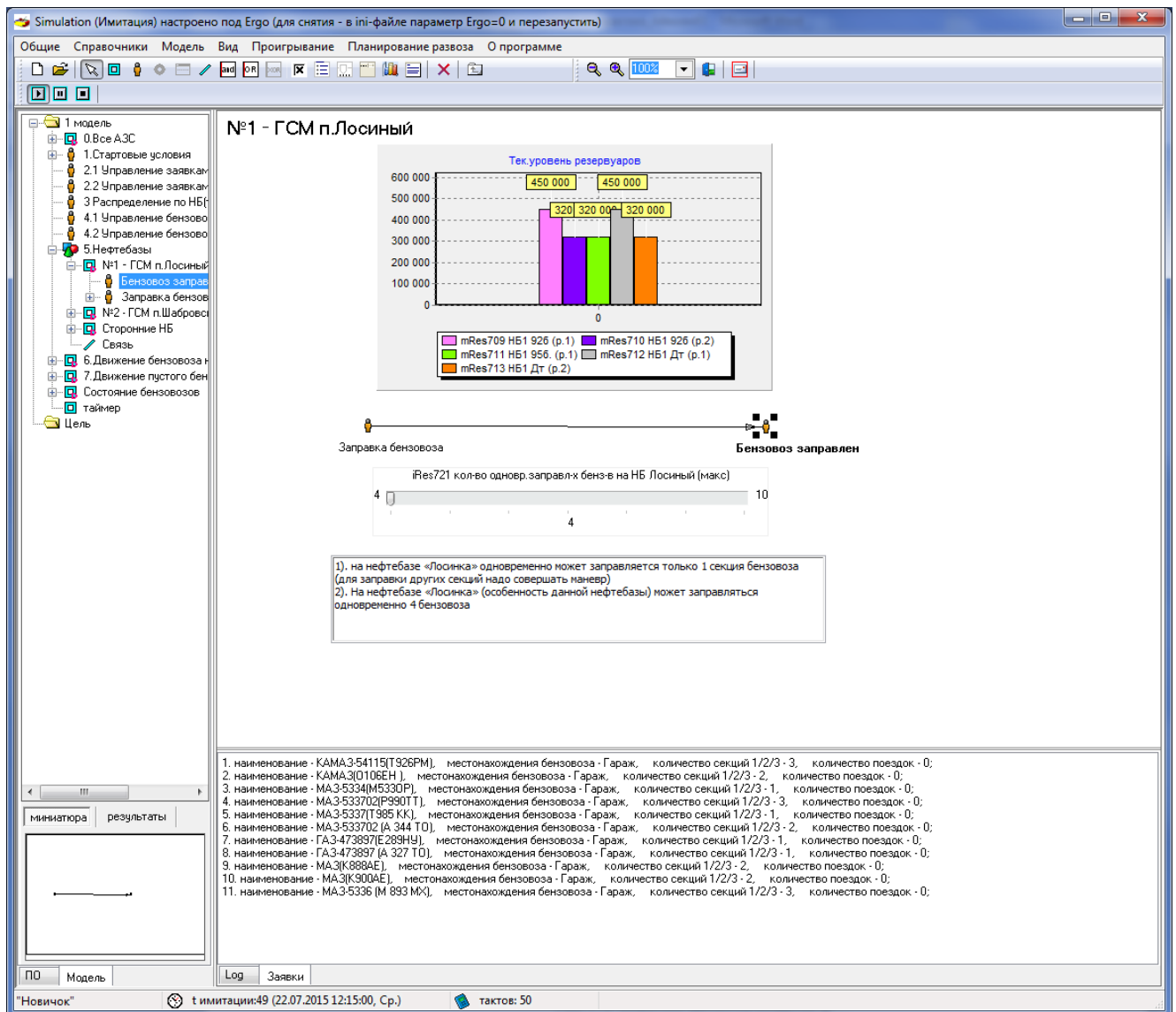


Рисунок 3.11 - Уровень модели «НБ «Лосиный»

По сторонним нефтебазам доступна и учитывается лишь информация о видах топлива и разрешенных суточных объемах отгрузки согласно заключенных договоров.

### 3.5. Принцип работы модели

Основные этапы работы реализованной модели следующие:

1. Блок «**Стартовые условия**» (рисунок 3.12) в начальный момент времени генерирует заявки-бензовозы, а также обнуляет некоторые итоговые переменные, такие как количество рейсов, объем доставленной продукции, количество заявок.

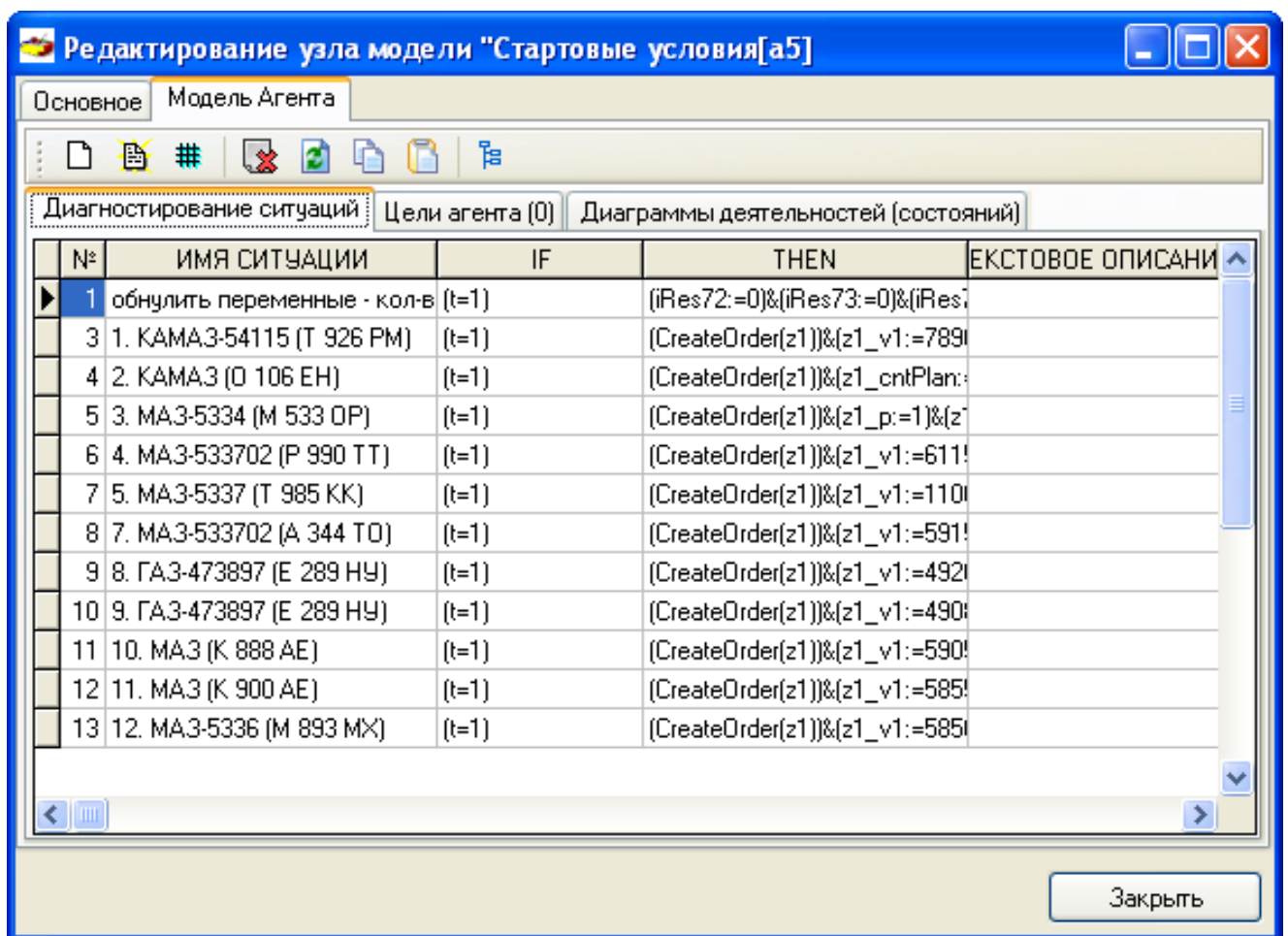


Рисунок 3.12 - Узел «Стартовые условия»

Предварительно необходимо выполнить установку режима развоза топлива бензовозами – ночной или дневной.

Режим развоза

☐ 0 ночной (22ч-6ч)

☒ 1 дневной (9ч-18ч)

2. Агенты блока «**Все АЗС**» имитируют «потребление» различного вида топлива из каждой, описанной в модели, емкости. В зависимости от времени суток «потребление» изменяется, уменьшаясь в ночное время (с 23 ч. до 7 ч.) и увеличиваясь в дневное (с 7 ч. до 23 ч). Уровень топлива отображается на диаграммах: столбчатая диаграмма текущих значений емкостей (рисунок 3.13) или линейная диаграмма изменений значений во времени (рисунок 3.14).

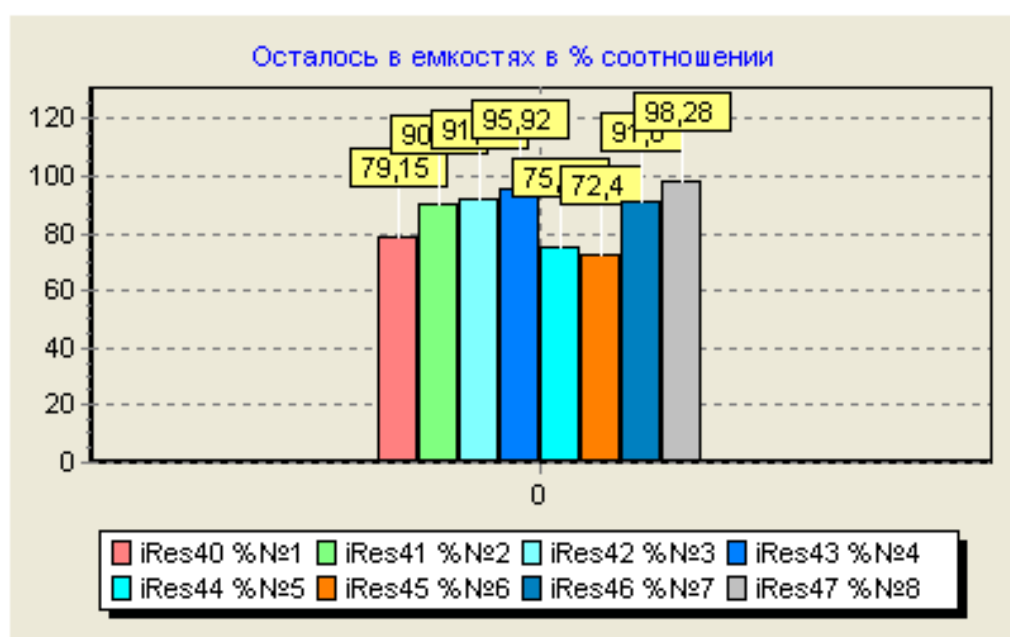


Рисунок 3.13 - Текущий объем продукта в емкостях АЗС №190 (в литрах)

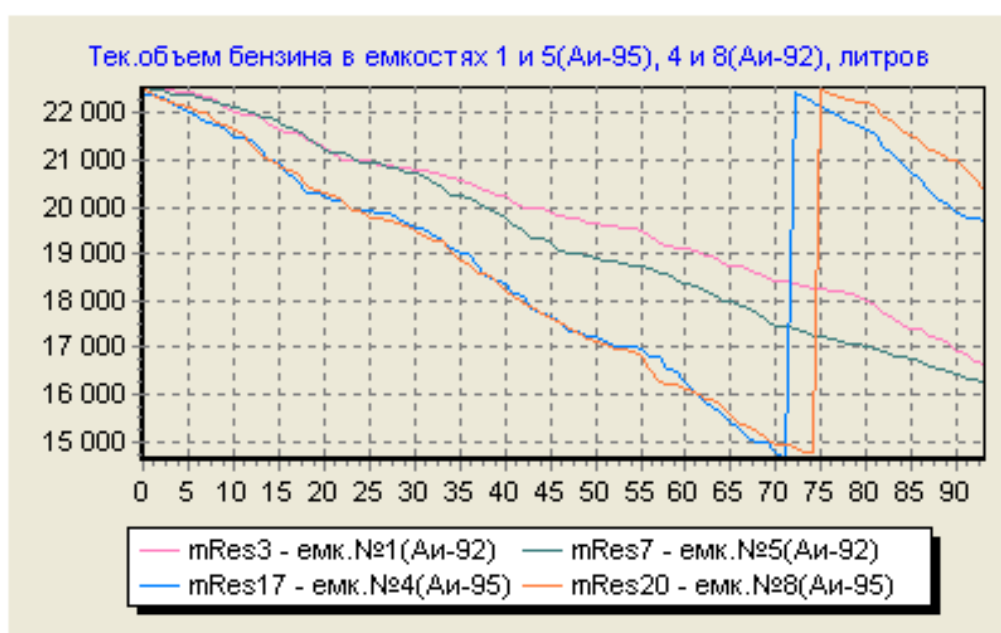


Рисунок 3.14 - Динамика изменения объема продукта в емкостях АЗС №190

3. Блок «Управление заявками» имитирует работу управляющего (специалиста по логистике), осуществляющего анализ состояния емкостей АЗС. В модели такой анализ осуществляется в 9.00 ежедневно в рабочее время. Анализируется текущий уровень емкостей всех АЗС, и, в зависимости от установленного значения параметра «количество суток, на которое должно хватить остатка в емкости» на верхнем уровне модели, осуществляется создание заявки на поставку бензина, если текущего уровня бензина уже не достаточно для потребления на указанное количество дней. Внешний вид агента, создающего заявку при выполнении условий представлен на рисунке 3.15.

**Описание ситуации**

порядковый номер: 2

Имя ситуации: Утром в будний день - получить данные о состоянии всех АЗС

Текстовое описание ситуации:

условие IF - взаимодействие с "внешним миром" через:

IF (ЕСЛИ): ☒ рабочую память (РП) ☐ базу знаний (БЗ)

[mRes3<(mRes2+iRes57\*iRes65)&(iRes28=0)&(t\$24=9)&(t\$168<120)]

Диапазон с: 0 по: 0

N°	Действия, входящие	в THEN	Время старта
1	заявка на поставку АЗС190 N	CreateOrder(z2)	
2	владелец	z2_owner="a6"	
3	номер заправки	z2_u:=190	
4	вид требуемого топлива	z2_uu:=2	
5	номер целевой емкости	z2_ss:=1	
6	нужно исключить уже эту емк	iRes40:=100	
7	заявка на поставку АЗС190 N	iRes28:=1	
8	шаг	z2_step:=1	
9	увеличить общее число заявок	iRes55:=iRes55+1	
10	увеличить общее число заявок	iRes74:=iRes74+1	

Применить Отмена

Рисунок 3.15 - Создание заявки на поставку бензина

4. Далее управление передается агенту **«Управление бензовозами»**. Он «проверяет» наличие свободного бензовоза, и при наличии заявок, бензовоз «бронируется» для поставки продукции для целевой АЗС. При наличии нескольких заявок на одну АЗС, и при наличии нескольких секций у бензовоза, сразу бронируется несколько секций для поставки бензина для нескольких емкостей на одной АЗС, и обрабатывается несколько заявок на поставку.
5. Блок **«Нефтебазы»** имитирует заполнение емкостей бензовозов согласно плану, сделанному агентом **«Управление бензовозами»**. Слив из резервуара в емкости бензовоза осуществляется при условии незанятости в момент присутствия бензовоза на нефтебазе, нужного резервуара.
6. Блок **«Движение бензовоза на АЗС»** имитирует движение бензовоза на заданное расстояние (в зависимости от целевой АЗС) в рабочее время – то есть заданное настройкой «режим развоза» (ночной с 22.00 до 6.00 часов, или дневной с 9.00 до 18.00).
7. Для каждой АЗС добавлен блок **«Слив в емкости из бензовозов»**. Блок «проверяет» наличие в целевой емкости места, достаточного для слива секции бензовоза целиком, и, если это условие выполняется – осуществляется увеличение текущего уровня целевой емкости и слив секции бензовоза (рисунок 3.16). Заявка на поставку ( $z1$ ) удаляется из очереди.

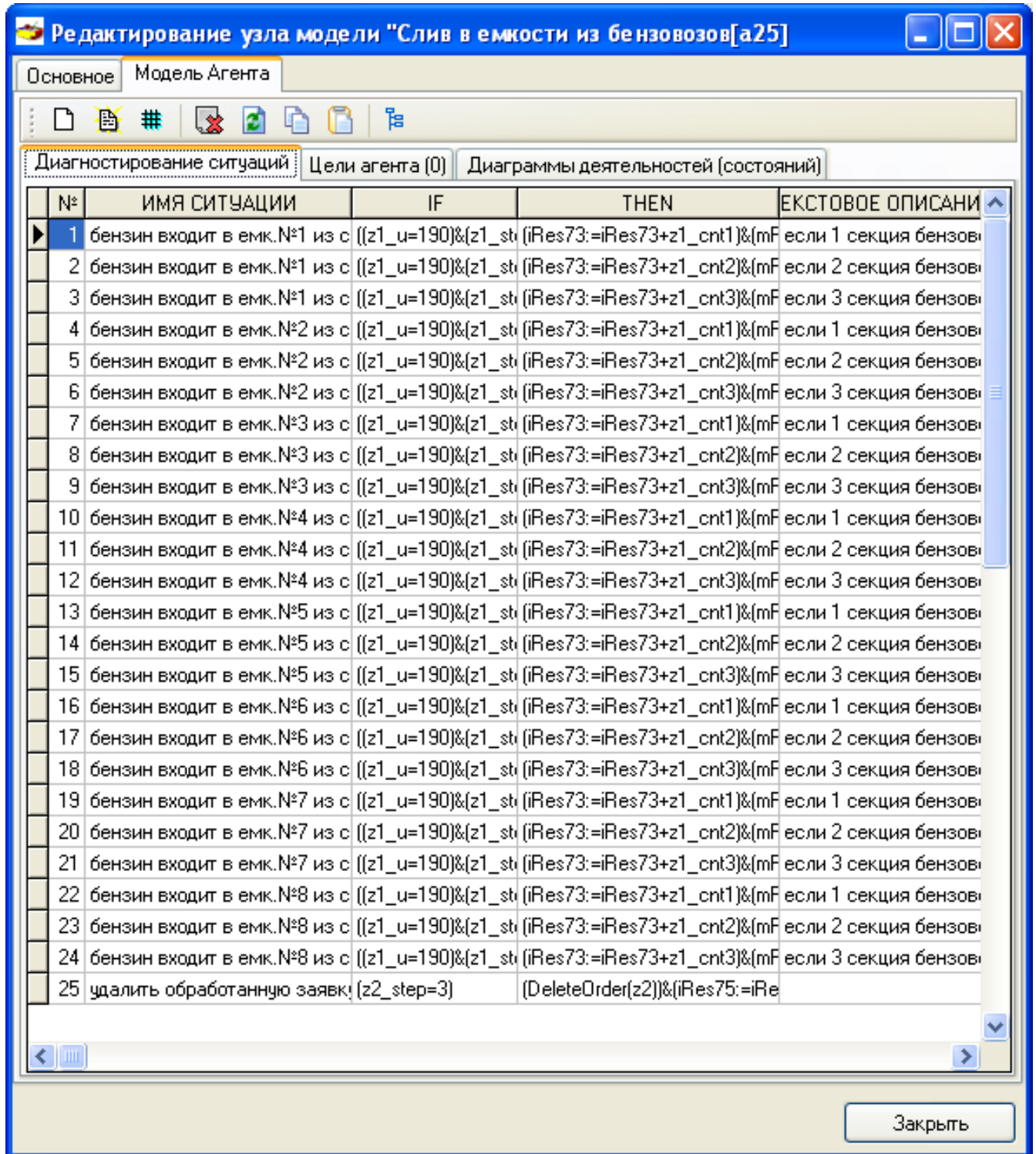


Рисунок 3.16 - Условия блока, реализующего слив бензина из бензовозов

8. При условии, что все секции бензовоза свободны, возможно движение бензовоза на нефтебазу (бензовоз отправляется на нефтебазу), реализуется это блоком «**Движение пустого бензовоза от АЗС на нефтебазу**». Действие его сходно с блоком «Движение бензовоза на АЗС». Бензовоз переходит в начальное состояние, итерации повторяются, **шаги 2-7**.



9. Количество созданных и обработанных заявок и рейсов отображается на диаграмме рисунок 3.17. Объем доставленного бензина подсчитывается и также отображается на диаграмме рисунке 3.18.

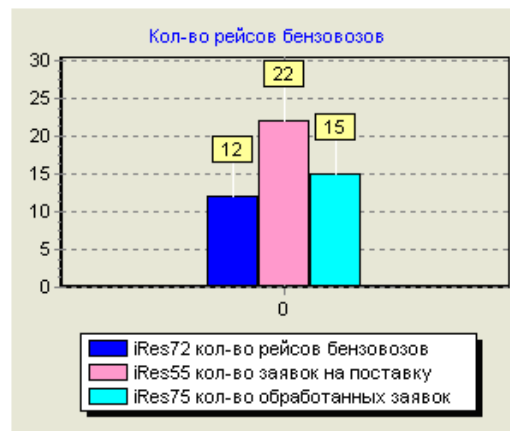


Рисунок 3.17 - Диаграмма количества заявок, рейсов

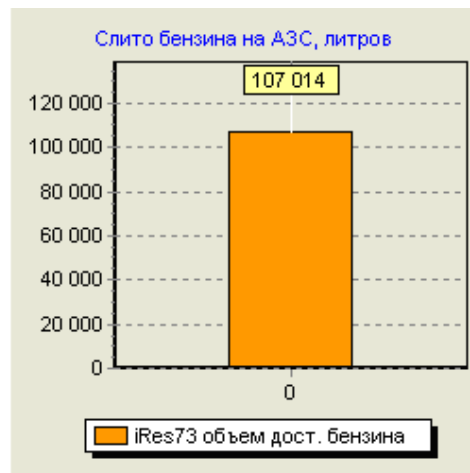


Рисунок 3.18 - Объем слитого бензина

Дискрет (шаг моделирования) времени имитации составляет 15 минут, что задается при старте имитации. Для удобства также осуществляется старт модели от некоторой даты, чтоб была привязка ко дню недели.

В начальный (стартовый) момент времени имитации все емкости всех АЗС заполняются по максимуму, далее начинается постепенное расходование топлива – в соответствии с заданными характеристиками ночного и дневного потребления. Блок «Управление заявками» диагностирует текущий объем в емкостях и при условии достижения критического уровня (разница между текущим уровнем емкости и минимальным становится менее ожидаемого расхода за указанное количество суток) создаются заявки на поставку топлива на эту АЗС для этой

емкости (рисунок 3.19).

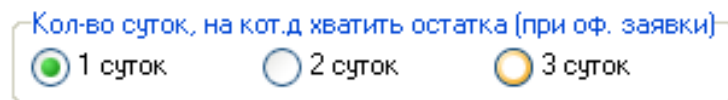


Рисунок 3.19 - Параметр "остаток топлива в емкостях на АЗС"

Заявки создаются в указанное время – раз в сутки в рабочие дни, для удобства и ускорения работы модели. Созданные заявки помещаются в очередь заявок (визуально отображаемые в нижней части рисунок 3.20), затем блок «Управление бензовозами» решает задачу распределения заявок между имеющимися бензовозами. При наличии нескольких заявок для одной АЗС – используется один бензовоз.

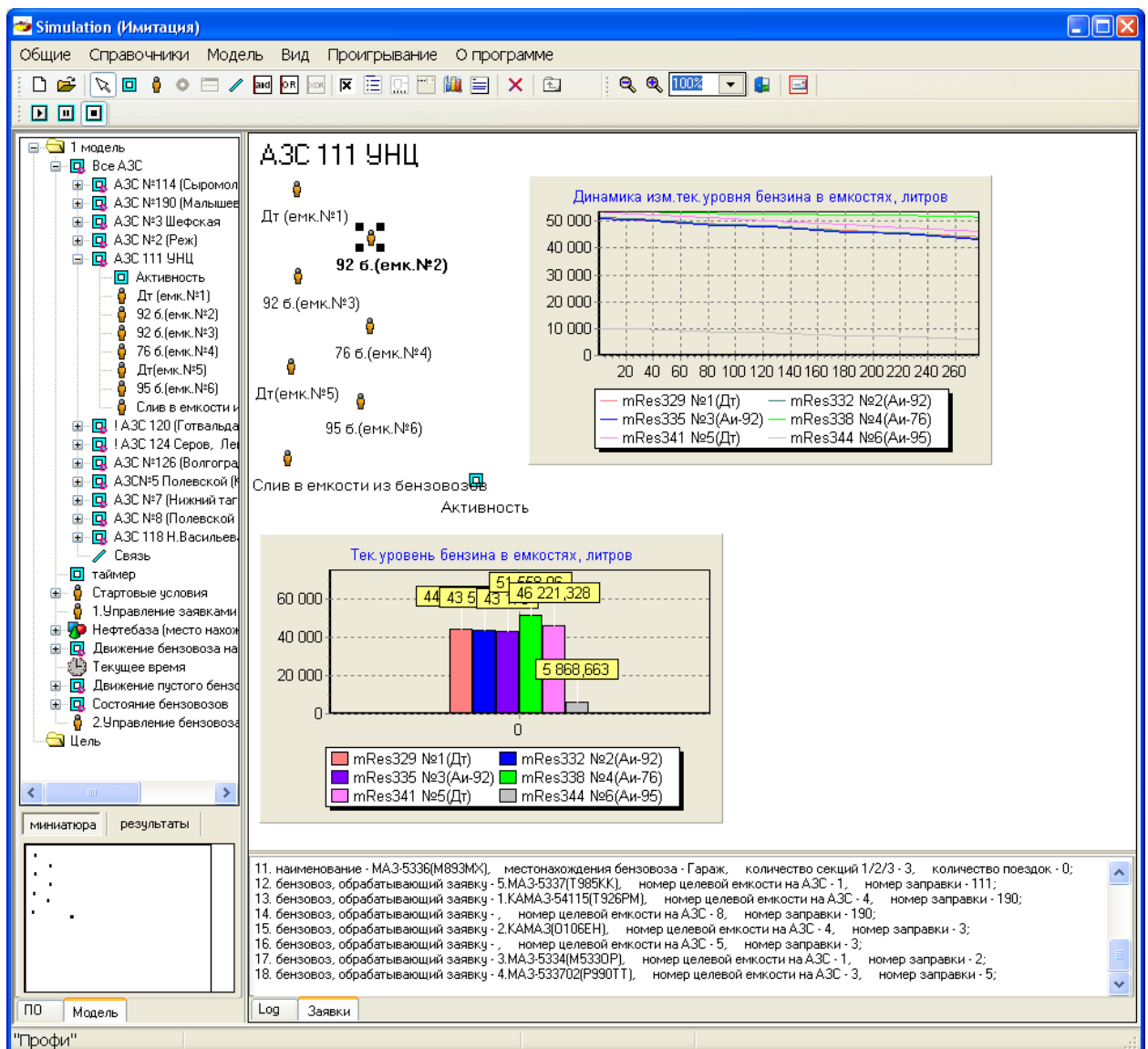


Рисунок 3.20 - Информация в модели об остатках и динамике потребления топлива на АЗС, обрабатываемых заявках на снабжение

После «получения» задания, имитация движения бензовозов на АЗС (на Нефтебазу) осуществляется согласно матрице расстояний со средней скоростью (задаваемой параметром или согласно статистики), и реализовано блоками «Движение бензовоза на АЗС» и «Движение пустого бензовоза от АЗС на Нефтебазу».

После приезда бензовоза на АЗС, блок «Слив в емкости из бензовоза» диагностирует наличие достаточного свободного места в емкости и осуществляется слив бензина и пополнение уровня в емкости. На линейной диаграмме «Динамика изменения уровня бензина в емкостях» это выглядит следующим образом (рисунок 3.21).

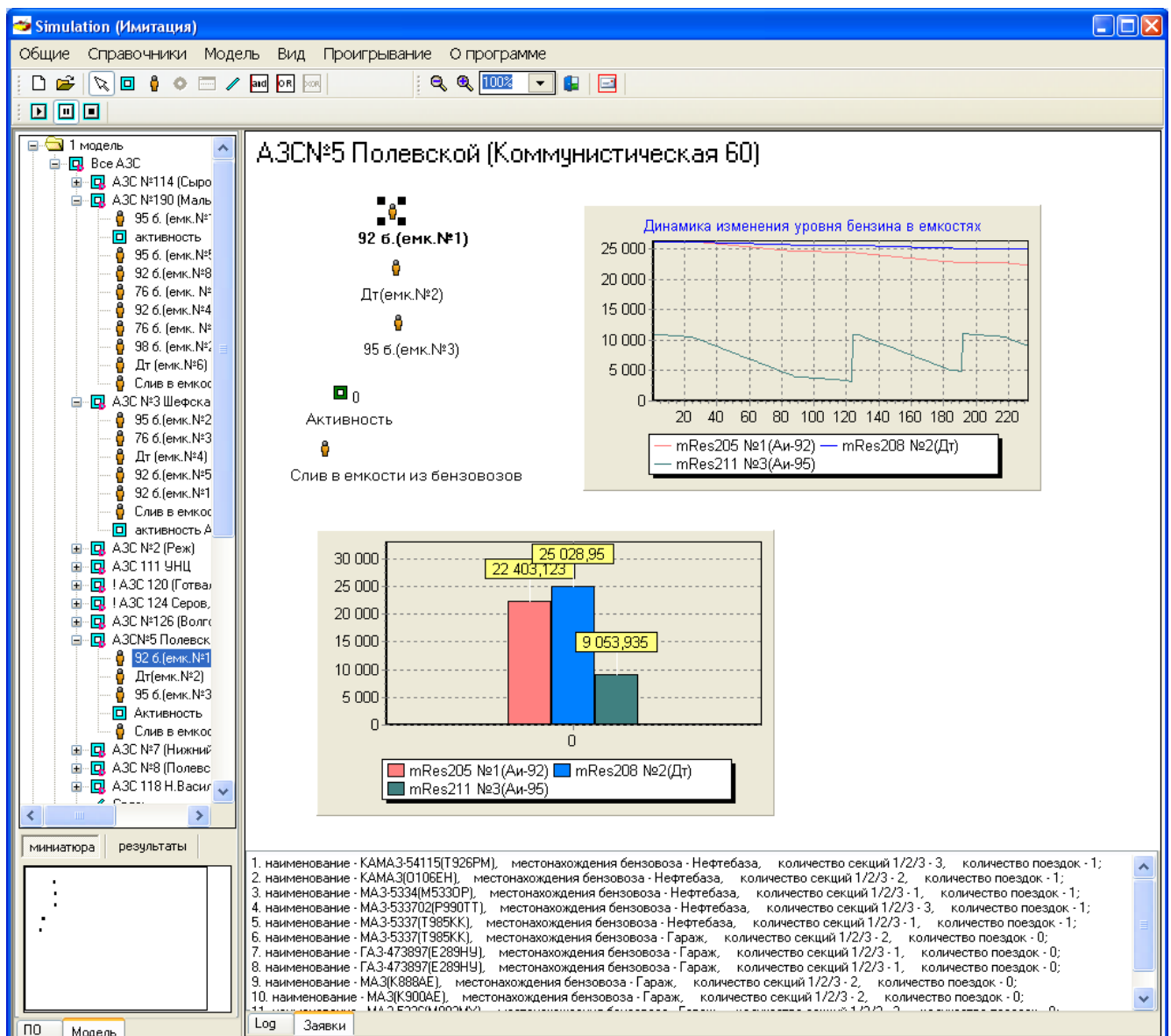


Рисунок 3.21 - Остатки и динамика потребления топлива на АЗС

Результаты эксперимента с первой версией модели показали, несоответствие скорости работы модели с требованиями к работе программного комплекса в целом.

В результате работ по оптимизации алгоритма имитатора BPsim.MAS в алгоритм обработки агентов и в их структуру были добавлены **правила «глобального условия»** и соответствующий признак, что позволило «отсеивать» правила агентов, которые для них являются второстепенными и требуют проверки в случае выполнения правила «глобального условия».

Был проведен эксперимент, по оценке скорости работы модели с оптимизированным и старым алгоритмом, результаты представлены на рисунке 3.22. *В результате оптимизации алгоритма добились ускорения работы модели в 4,58 раз.* Параметры рабочего компьютера 2.13 ГГц IntelCore™ 2 CPU, 2 GB ОЗУ.

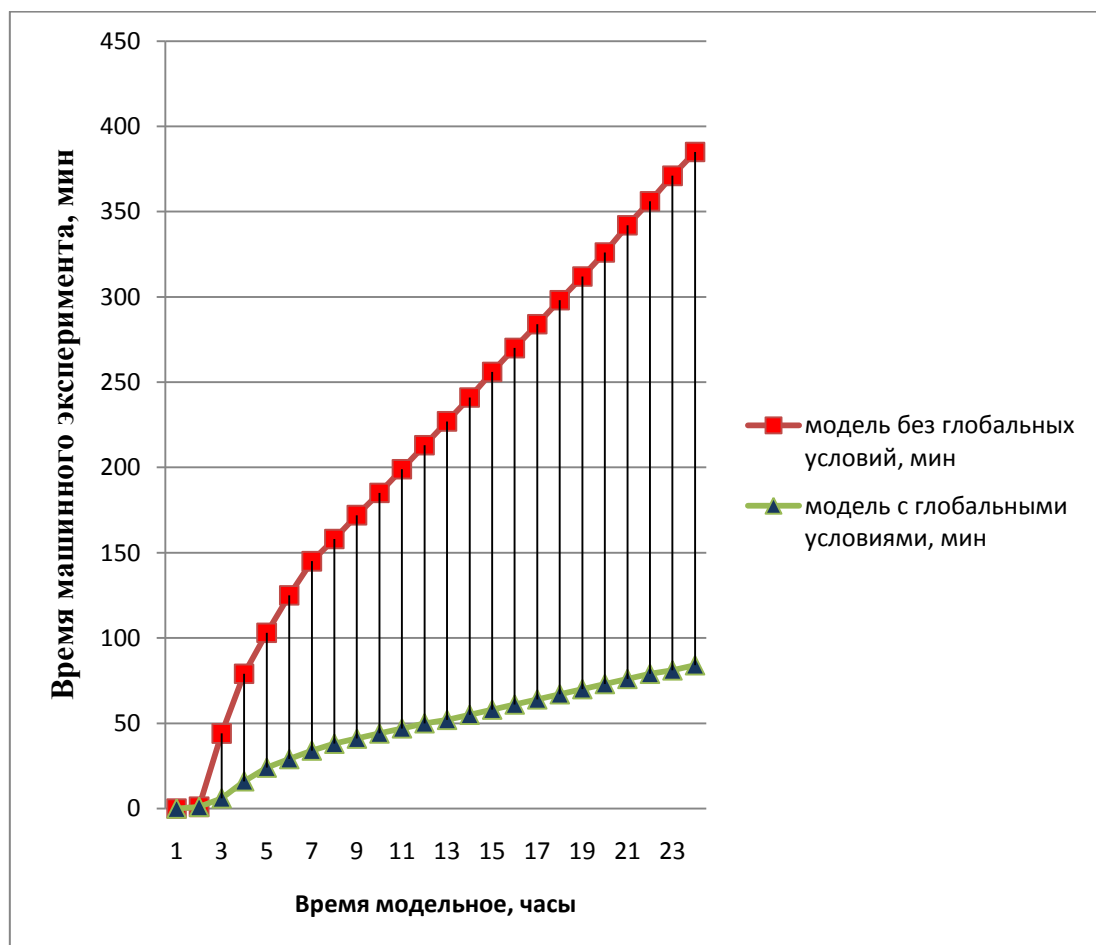


Рисунок 3.22 - Зависимость времени машинного эксперимента для обычной модели и модели с глобальными условиями агентов

Для блоков типа «Агент» в BPsim.MAS добавлено понятие «глобальное условие», представленная на вкладке "Глобальное условие запуска Агента" (рисунок 3.23).

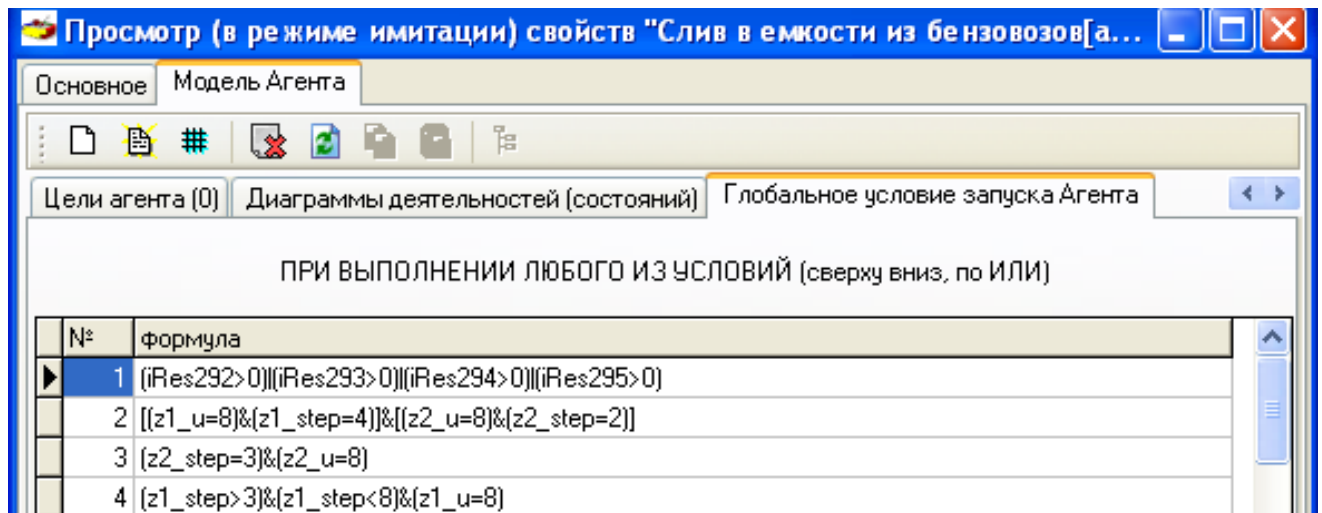


Рисунок 3.23 -Глобальное условие запуска Агента

Глобальное условие для агента заводится аналогично правилам "Если, то". Через форму «Формула» (рисунки 3.24-3.25).

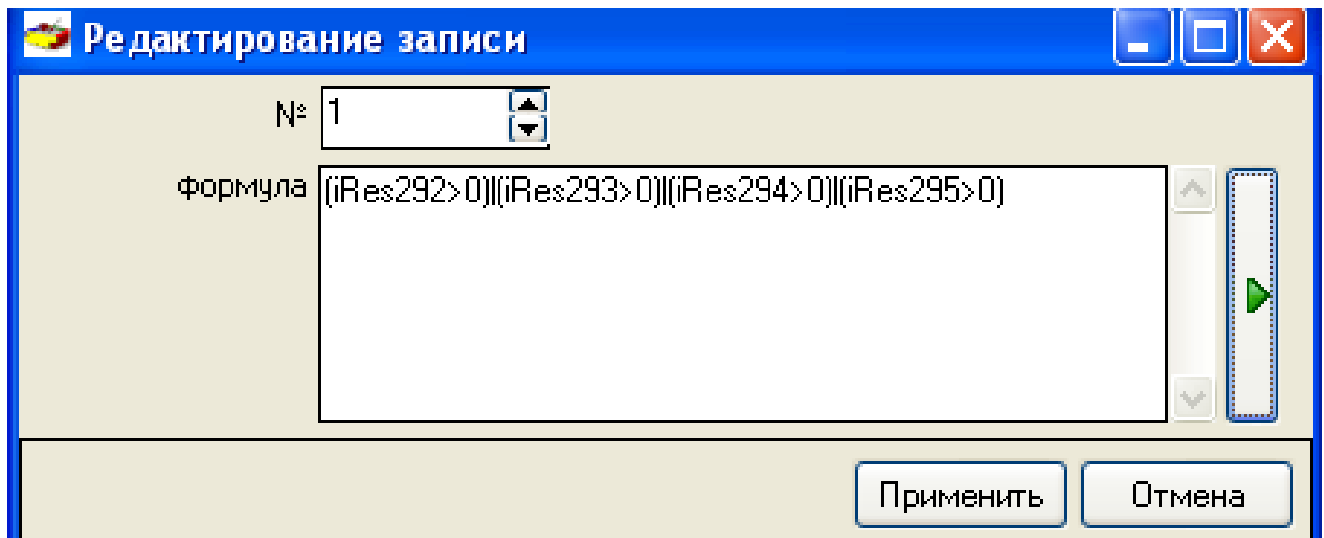


Рисунок 3.24 - Форма редактирования правила глобального условия

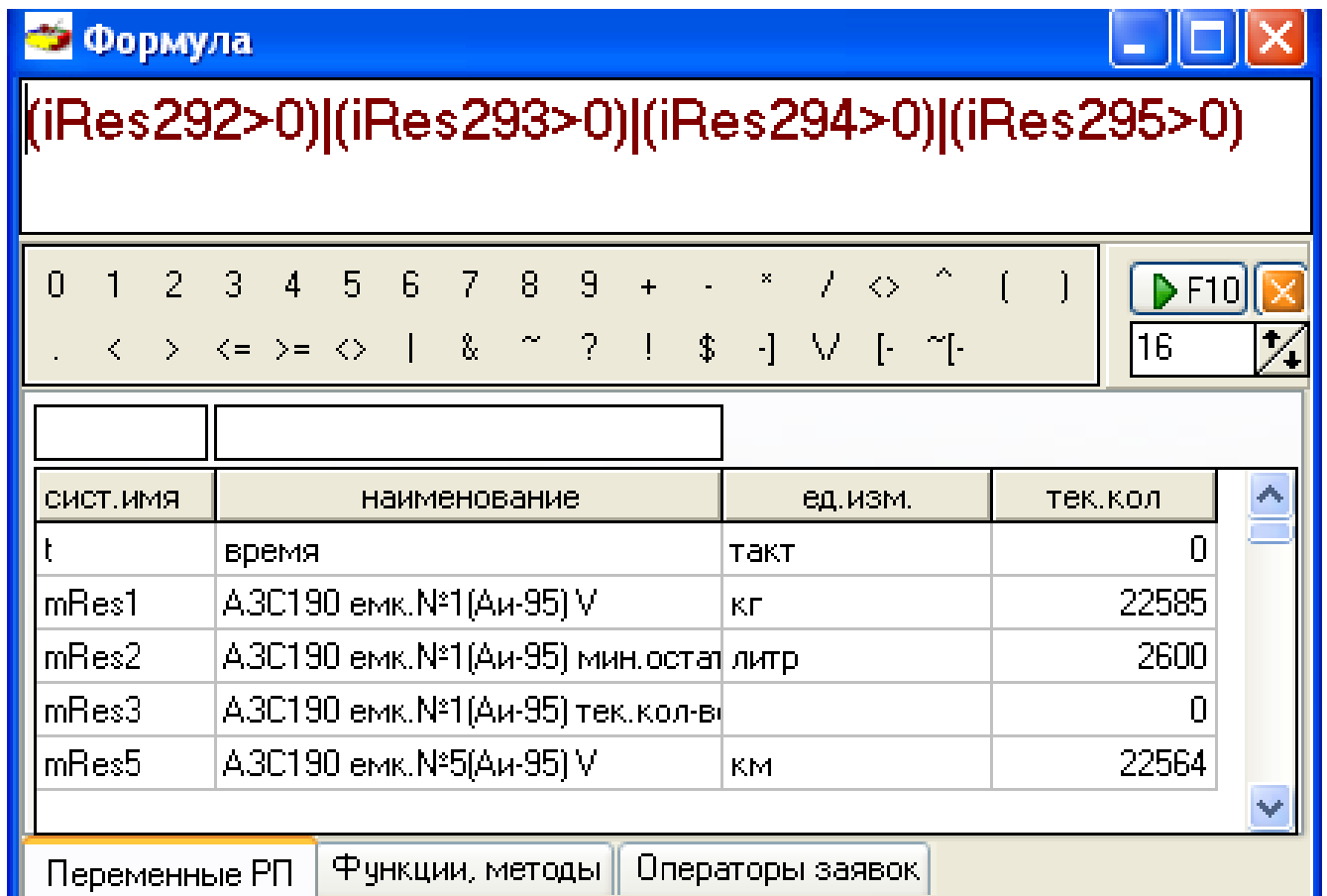


Рисунок 3.25 - Форма конструктора редактирования правила глобального условия

Заведение глобальных условий целесообразно для агентов с большим количеством правил, при наличии повторяющихся частей формул в условиях "Если" нескольких правил. Именно такие части и выносятся в глобальные условия.

При имитации сначала проверяется выполнение глобальных условий агента (сверху вниз). Только при выполнении любого из них (а не всех одновременно) происходит дальнейшая проверка условий "Если, то" агента. Если же ни одно из глобальных условий не выполняется, то правила агента не проверяются, агент не «запускается». При большом количестве правил агента, глобальные условия позволяют ускорить алгоритм имитации. Если же правил агента "Если, то» немного, то заполнение глобальных условий не имеет смысла, а наоборот, может привести к замедлению.

Общий вид модели во время эксперимента представлен на рисунке 3.26.

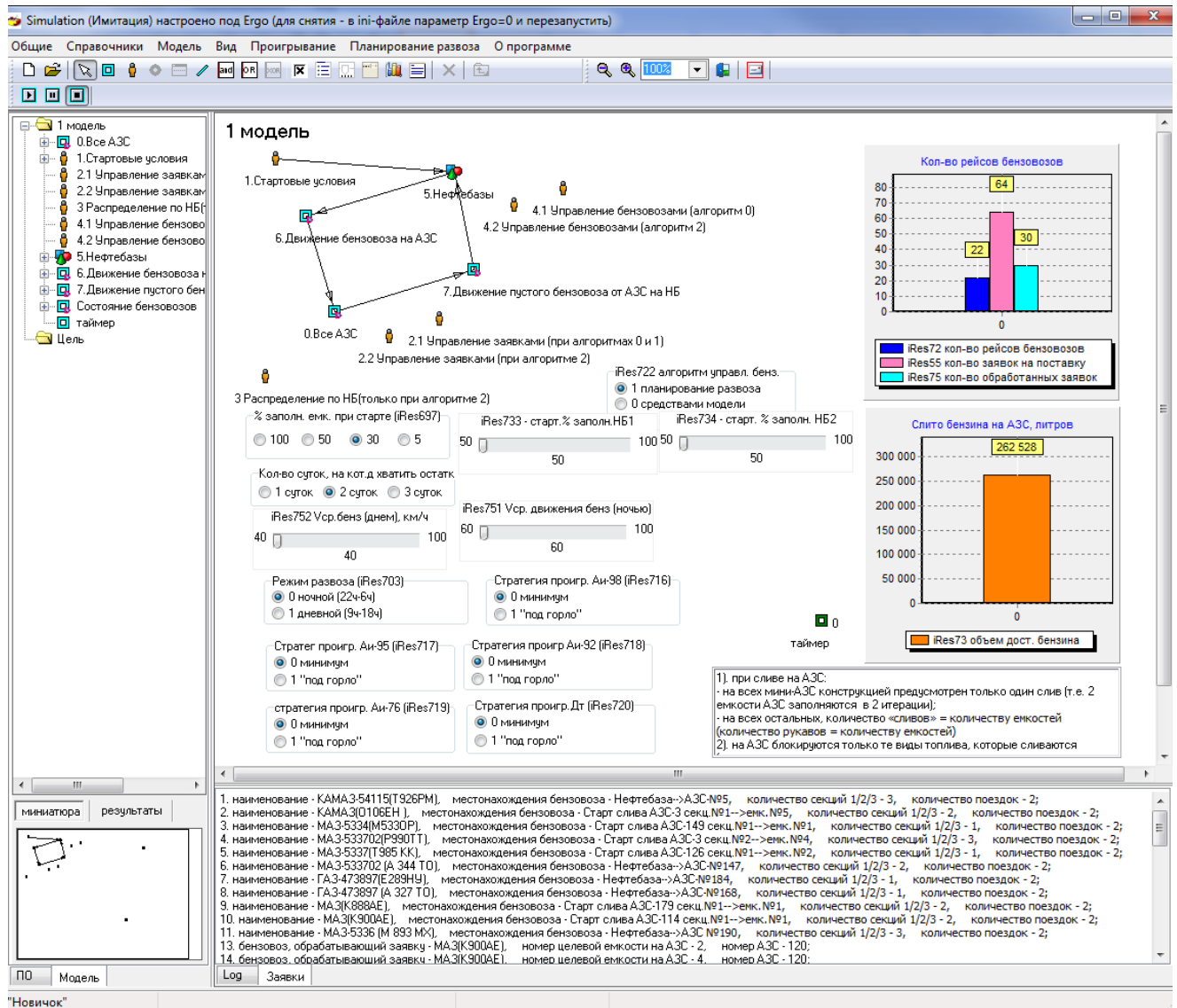


Рисунок 3.26 - Общий вид модели во время эксперимента

Вид формируемого Планировщиком плана развоза в MS Excel представлен на рисунке 3.27.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data table:

Планирование развоза на текущий день													
номер рейса	бензовоз	кол-во секций	номер НБ	АЗС	S НБ --> АЗС, км	плановая ср. скорость, км/ч	плановая продолжительность рейса, мин.	№ емкости на АЗС			тип бензина		
								1 секция	2 секция	3 секция	1 секция	2 секция	3 секция
1	5.МАЗ-5337(T985 КК)	1	1	118	100	60	260	1			АИ-95		
2	3.МАЗ-5334(M533OP)	1	1	149	100	60	260	1			АИ-92		
3	1.КАМАЗ-54115(T926PM)	3	1	190	100	60	260	4	8	1	АИ-92	АИ-92	АИ-95
4	4.МАЗ-533702(P990TT)	3	1	3	110	60	280	4	1	5	ДТ	АИ-92	АИ-92
5	8.ГАЗ-473897(E289НУ)	1	1	184	100	60	260	2			АИ-92		
6	9.ГАЗ-473897 (A 327 TO)	1	1	3	110	60	280	2			АИ-95		
7	5.МАЗ-5337(T985 КК)	1	1	141	100	60	260	1			АИ-92		
8	11.МАЗ(K900AE)	2	1	147	100	60	260	2	1		АИ-92	АИ-95	
9	3.МАЗ-5334(M533OP)	1	1	190	100	60	260	5			АИ-95		
10	11.МАЗ(K900AE)	2	1	120	100	60	260	2	4		АИ-92	АИ-92	
11	8.ГАЗ-473897(E289НУ)	1	1	161	100	60	260	1			АИ-92		
12	9.ГАЗ-473897 (A 327 TO)	1	1	159	100	60	260	1			АИ-92		
13	2.КАМАЗ(O106EH)	2	1	2	50	60	160	1	4		АИ-92	ДТ	
14	10.МАЗ(K888AE)	2	1	114	100	60	260	1	2		АИ-92	АИ-95	
15	7.МАЗ-533702 (A 344 TO)	2	1	126	100	60	260	2	1		АИ-92	АИ-95	
16	7.МАЗ-533702 (A 344 TO)	2	1	189	100	60	260	2			АИ-92		
17	10.МАЗ(K888AE)	2	1	118	100	60	260	2			АИ-92		
18	2.КАМАЗ(O106EH)	2	1	149	100	60	260	2			АИ-95		
19	12.МАЗ-5336 (M 893 MX)	3	1	5	100	60	260	3			АИ-95		
20	4.МАЗ-533702(P990TT)	3	1	111	100	60	260	6			АИ-95		
21	1.КАМАЗ-54115(T926PM)	3	1	8	70	60	200	3			АИ-92		

Рисунок 3.27 - План развоза в MS Excel, формируемый Планировщиком

### 3.4. Выводы

1. На основе теоретических результатов, предложенной во второй главе, были разработаны:
  - интеллектуальный агент "Планировщик", интегрированный с комплексом BPsim;
  - интерфейсы интеллектуальной СППР задачи планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций, ориентированные на конечного пользователя;



- программное, информационное, алгоритмическое, методическое обеспечение программного комплекса СППР планирования развоза топлива.
2. Разработанная информационная технология планирования развоза топлива, построенная на основе продуктов семейства VPsim и «Планировщик», обладает полным перечнем функциональных возможностей, предъявляемых к проблемно-ориентированной СППР планирования развоза топлива, и отличается:
- организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с СППР (вводе, корректировке данных, создании моделей и решении задач);
  - учетом конструктивных особенностей транспортных средств и их возможностей при обслуживании АЗС;
  - учетом расстояний удаленности объектов сети АЗС, учетом близких АЗС;
  - интеграцией со средствами мультиагентного ИМ процессов логистики;
  - поддержкой задач планирования и диспетчеризации в ручном, автоматическом и автоматизированном режиме.

#### **4. Внедрение системы поддержки принятия решений процессов логистики на предприятии**

В главе приведены результаты применения разработанного метода и программного комплекса при решении следующих задач:

- 1) планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций;
- 2) анализа работы станции технического обслуживания;
- 3) анализ снабжения сети строительных магазинов.

##### **4.1. Задача планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС**

В модели реализован процесс потребления и поставки топлива на сеть АЗС бренда "Башнефть", охватывающего куст Свердловской области. Детальное описание имитационной модели и программного комплекса приведено в главе 3.

Параметры модели:

1. Количество узлов всего: 179
  - a. в том числе операций: 59
  - b. в том числе агентов интеллектуальных: 120
2. Общее количество правил агентов (if): 941. Количество агентов с правилами "глобального условия": 37.
3. Количество ресурсов: 703.
4. Количество динамических заявок: бензовозов - 12, заявок на развоз образовалось (при имитации в течение "суток") - 22.

За основу взяты показатели емкостей АЗС (вид топлива, объем емкости, минимальный остаток, средне суточное потребление) представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры АЗС (на примере 2-ух АЗС)

№	Наименование АЗС	параметр	номер емкости			
			1	2	3	4
3	АЗС №3 Шефская	продукт	АИ-92	АИ-95	АИ-76	Дт
		объем, л	25430,00	25679,00	27877,00	25676,00
		мин.остаток,л	1088,00	1073,00	1184,00	1128,00
		ср.сут.потребление,л	4525,33	3803,76	603,47	6707,57
			номер емкости			
			5	6	7	8
		продукт	АИ-92			
		объем, л	25696,00			
		мин.остаток,л	1104,00			
		ср.сут.потребление,л	4572,67			
№	Наименование АЗС	параметр	номер емкости			
			1	2	3	4
190	АЗС 190	продукт	АИ-95	АИ-98	АИ-76	АИ-92
		объем, л	22585,00	13075,00	12438,00	22465,00
		мин.остаток,л	1011,00	617,00	605,00	1043,00
		ср.сут.потребление,л	2803,53	507,88	219,41	4799,12
			номер емкости			
			5	6	7	8
		продукт	АИ-95	Дт	АИ-76	АИ-92
		объем, л	22564,00	12658,00	11250,00	22532,00
		мин.остаток,л	1033,00	621,00	630,00	1014,00
		ср.сут.потребление,л	2800,93	1776,38	198,45	4813,43

Среднесуточное потребление рассчитано на основании статистики потребления продукта из каждой емкости (загружаемой из информационной системы С-Бенч).

Получив усредненные значения почасового потребления топлива на каждой емкости АЗС в течение суток, для каждой емкости были рассчитаны средненочные - как усредненные значения среднечасовых потреблений за интервал с 22 часов до 06 часов суток и среднедневные – усредненное в интервале с 09 часов до 18 часов суток. Аналогичная таблица имеет следующий вид (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Средние данные дневного и ночного потребления

№	Наименование АЗС	параметр	номер емкости			
			1	2	3	4
3	АЗС №3 Шефская	продукт	АИ-92	АИ-95	АИ-76	Дт
		объем, л	25430,00	25679,00	27877,00	25676,00
		мин.остаток,л	1088,00	1073,00	1184,00	1128,00
		ср.ночн.потребление,л	57,09	44,34	2,97	107,16
		ср.дн.потребление,л	380,20	301,18	65,28	422,23
		ср.сут.потребление,л	5841,27	4605,66	878,55	6938,87
			номер емкости			
			5	6	7	8
		продукт	АИ-92			
		объем, л	25696,00			
		мин.остаток,л	1104,00			
		ср.ночн.потребление,л	57,69			
		ср.дн.потребление,л	384,16			
		ср.сут.потребление,л	5902,14			
190	АЗС 190	продукт	АИ-95	АИ-98	АИ-76	АИ-92
		объем, л	22585,00	13075,00	12438,00	22465,00
		мин.остаток,л	1011,00	617,00	605,00	1043,00
		ср.ночн.потребление,л	78,69	18,12	2,55	142,35
		ср.дн.потребление,л	224,49	36,38	19,31	342,38
		ср.сут.потребление,л	3930,78	698,89	261,44	6298,14
			номер емкости			
			5	6	7	8
		продукт	АИ-95	Дт	АИ-76	АИ-92
		объем, л	22564,00	12658,00	11250,00	22532,00
		мин.остаток,л	1033,00	621,00	630,00	1014,00
		ср.ночн.потребление,л	78,62	53,93	2,31	142,78
		ср.дн.потребление,л	224,28	143,67	17,47	343,40
		ср.сут.потребление,л	3927,13	2435,29	236,47	6316,93

К исходным данным относятся также данные о стоимости транспортировки топлива (как своими бензовозами, так и фрилансерами), цены отпуска топлива с нефтебаз и матрица расстояний, фрагмент которой представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Фрагмент матрицы расстояний

АЗС	НБ Лосинка	НБ Камволка	НБ Шабры
АЗС 101 Малышева 124	65	13	40
АЗС 102 ШПБ	50	33	41
АЗС 103 Черняховского 66 а	60	15	25
АЗС 105 38 км Чел. Тр. Правая	75	43	132
Азс 104 38 км Чел. Тр. Левая	85	52	141
Сыромолотова	43	13	45
Готвальда	67	12	57
Васильева	55	10	30
Волгоградская	55	6	35
Уральская	47	13	51
Таватуйская	77	15	64
Кислородная	49	15	73
Бебеля	76	13	59
Московская	55	6	150

Исходя из стоимости поставки 40 руб/км своим 10м<sup>3</sup>бензовозом, можно оценить стоимости доставки топлива с различных нефтебаз представленную в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Стоимости транспортировки своим бензовозом в руб.

	НБ Лосинка	НБ Камволка	НБ Шабры
АЗС 101 Малышева 124	2600	520	1600
АЗС 102 ШПБ	2000	1320	1640
АЗС 103 Черняховского 66 а	2400	600	1000
АЗС 105 38 км Чел. Тр. Правая	3000	1720	5280
Азс 104 38 км Чел. Тр. Левая	3400	2080	5640
Сыромолотова	1720	520	1800
Готвальда	2680	480	2280
Васильева	2200	400	1200
Волгоградская	2200	240	1400
Уральская	1880	520	2040
Таватуйская	3080	600	2560
Кислородная	1960	600	2920
Бебеля	3040	520	2360
Московская	2200	240	6000

Применение метода, СППР и комплекса моделей были использованы для анализа работы сети автозаправочных станций бренда «Башнефть» куста Свердловской области. В результате анализа работы сети были выработаны и обоснованы решения о переходе на смешанный график развоза топлива (день/ночь).

Результаты вычислительных экспериментов сопоставлены с фактическими данными развоза. Для проведения экспериментов были взяты реальные данные плана и факта развоза по снабжению сети «Башнефть» куста Свердловской области на конец и начало смен.

Эксперимент 1 (9 августа). Фактические результаты планирования рейсов диспетчером на 9 августа представлены на рисунке 4.1.

Microsoft Excel - Лог...

F16

	Б	С	Д	Е	Ж	З	И	Й
1					ГАЗПРО ШИБР			ГПН ШИБ
2	ДТ	ДТ-3			98			95
3	ДНЕВНОЙ развоз 09 августа							
4								
5		11 072			11 072			11 072
6	92	6010		92	6010		92	6010
7	92	5082		95	5082		95	5082
8								
9		11108						
10	ДТ	8103						
11	90	4883						
12								
13	НОЧНОЙ развоз 09-10 августа							
14								
15								
16								
17								
18								
19		####			####			####
20	92	7470		92	7470		ДТ	7470
21	92	7430		92	7430		ДТ	7430
22								
23		####			####			####
24	92	7480		92	7480		95	7480
25	92	7420		92	7420		92	7420
26								
27		11 035			11 035			11 035
28	95	5833		95	5833		ДТ	5833
29	95	5180		92	5180		ДТ	5180
30								
31		18 725			18 725			
32	95	5385		92	5385			
33	92	5330		92	5330			
34								
35		10 780			10 780			
36	95	8370		92	8370			
37	95	8390		92	8390			
38								
39		17 212			17 212			
40	95	8545		95	8545			
41	95	8667		95	8667			
42								
43		11023			11023			11023
44	95	8515		92	8515		ДТ	8515
45	92	8510		ДТ	8510		ДТ	8510

Рисунок 4.1 - Фактический развоз 9 августа

План развоза по результатам моделирования представлен на рисунке 4.2.

1	Планирование развоза											
2	НБ	Плановое время начала	Плановое время окончания	Состояние	Статус	Место начала рейса	Время прибытия на НБ	Время завершения заправки на НБ	АЗС 1	Время прибытия на АЗС 1	Время завершения заправки на АЗС 1	АЗС 2
3												
4	Склад ГСМ п.Лосиный	6:30:00	8:58:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	6:30:00	7:15:00	АЗС №101 Малышева	8:13:00	8:58:00	
5	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	13:15:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	10:45:00	АЗС №106 Полевской Комм	12:30:00	13:15:00	
6	Склад ГСМ п.Лосиный	8:58:00	13:11:00	V	не выполнен	АЗС №101 Малышева	9:56:00	10:41:00	АЗС №106 Полевской Комм	12:26:00	13:11:00	
7	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	12:05:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	10:45:00	АЗС №108 Реж	11:20:00	12:05:00	
8	Склад ГСМ п.Лосиный	13:15:00	18:02:00	V	не выполнен	АЗС №106 Полевской Комм	15:00:00	15:45:00	АЗС №115 Уральская	16:32:00	18:02:00	
9	Склад ГСМ Новинская	18:02:00	20:45:00	V	не выполнен	АЗС №115 Уральская	18:15:00	19:00:00	АЗС №116 Таватуйская	19:15:00	20:45:00	
10	Склад ГСМ п.Лосиный	13:11:00	17:24:00	V	не выполнен	АЗС №106 Полевской Комм	14:56:00	15:41:00	АЗС №101 Малышева	16:39:00	17:24:00	
11	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	12:30:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	10:45:00	АЗС №103 Черняковского б	11:45:00	12:30:00	
12	Склад ГСМ п.Лосиный	12:30:00	16:00:00	V	не выполнен	АЗС №103 Черняковского б	13:30:00	14:15:00	АЗС №103 Черняковского б	15:15:00	16:00:00	
13	Склад ГСМ п.Лосиный	16:00:00	19:30:00	V	не выполнен	АЗС №103 Черняковского б	17:00:00	17:45:00	АЗС №103 Черняковского б	18:45:00	19:30:00	
14	Склад ГСМ п.Лосиный	12:05:00	15:55:00	V	не выполнен	АЗС №108 Реж	12:40:00	13:25:00	АЗС №104 38км а/д Екате	14:50:00	15:55:00	
15	Склад ГСМ Новинская	19:30:00	22:07:00	V	не выполнен	АЗС №103 Черняковского б	19:45:00	20:30:00	АЗС №104 38км а/д Екате	21:22:00	22:07:00	
16	Склад ГСМ п.Лосиный	15:35:00	19:45:00	V	не выполнен	АЗС №104 38км а/д Екате	17:00:00	17:45:00	АЗС №105 38км а/д Екате	19:00:00	19:45:00	
17	Склад ГСМ п.Лосиный	19:45:00	23:45:00	V	не выполнен	АЗС №105 38км а/д Екате	21:00:00	21:45:00	АЗС №105 38км а/д Екате	23:00:00	23:45:00	
18	Склад ГСМ Новинская	10:00:00	12:13:00	V	не выполнен	Склад ГСМ Новинская	10:00:00	10:45:00	АЗС №105 38км а/д Екате	11:28:00	12:13:00	
19	Склад ГСМ п.Лосиный	11:06:00	13:11:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	11:06:00	11:51:00	АЗС №108 Реж	12:26:00	13:11:00	
20	Склад ГСМ п.Лосиный	11:06:00	15:23:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	11:06:00	11:51:00	АЗС №109 Н.Тагил	14:38:00	15:23:00	
21	Склад ГСМ п.Лосиный	13:11:00	18:03:00	V	не выполнен	АЗС №108 Реж	13:46:00	14:31:00	АЗС №109 Н.Тагил	17:18:00	18:03:00	
22	Склад ГСМ п.Лосиный	18:03:00	0:50:00	V	не выполнен	АЗС №109 Н.Тагил	20:50:00	21:35:00	АЗС №110 Н.Павловское	0:05:00	0:50:00	
23	Склад ГСМ п.Лосиный	15:23:00	22:10:00	V	не выполнен	АЗС №109 Н.Тагил	18:10:00	18:55:00	АЗС №110 Н.Павловское	21:25:00	22:10:00	
24	Склад ГСМ Новинская	11:06:44	15:03:44	V	не выполнен	Склад ГСМ Новинская	11:06:44	11:51:44	АЗС №110 Н.Павловское	14:18:44	15:03:44	
25	Склад ГСМ п.Лосиный	15:03:44	21:04:44	V	не выполнен	АЗС №110 Н.Павловское	17:33:44	18:18:44	АЗС №118 Бебеля	19:34:44	21:04:44	
26	Склад ГСМ Новинская	21:04:44	23:38:44	V	не выполнен	АЗС №118 Бебеля	21:17:44	22:02:44	АЗС №119 Московская 22	22:08:44	23:38:44	
27	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	13:10:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п.Лосиный	10:00:00	10:45:00	АЗС №120 Шварца	11:40:00	13:10:00	
28	Склад ГСМ п.Лосиный	12:13:00	16:44:00	V	не выполнен	АЗС №105 38км а/д Екате	13:28:00	14:13:00	АЗС №121 Автоматистрал	15:14:00	16:44:00	
29	Склад ГСМ п.Лосиный	13:10:00	17:21:00	V	не выполнен	АЗС №120 Шварца	14:05:00	14:50:00	АЗС №121 Автоматистрал	15:51:00	16:36:00	АЗС №128 Автоматистрал
30	Склад ГСМ п.Лосиный	16:44:00	20:07:00	V	не выполнен	АЗС №121 Автоматистрал	17:45:00	18:30:00	АЗС №122 Шефская 1056	19:22:00	20:07:00	
31	Склад ГСМ п.Лосиный	17:21:00	21:27:00	V	не выполнен	АЗС №128 Автоматистрал	18:21:00	19:06:00	АЗС №123 Ткачей 7а	19:57:00	21:27:00	
32												
33												

Рисунок 4.2 - План развоза из СППР на 9 августа

Результаты сравнения планов экспериментального и фактического на 9 августа представлены на рисунке 4.3.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
34											
35											
36		SCANIA(002)	3	3	3	3	3	3	3	0	
37		КАМАЗ(О106ЕН)(т 787 тм)	3	3	3	2	2	2	2	-1	
38		MA3(т 796 oe)	4	4	3	3	3	3	3	-1	
39		SCANIA(003)	4	4	3	3	3	3	3	-1	
40		КамАЗ(х 024 тр)	3	3	3	2	2	2	2	-1	
41		MA3(о 928 кр)	3	3	3	1	1	1	1	-2	
42		MA3(х 482 ау)	2	2	3	3	3	3	3	1	
43		MA3(а162км)	3	3	3	3	3	3	3	0	
44		КамАЗ(у 009 не)	3	3	2	2	2	2	2	-1	
45			28	14	14	22	11	11	11	-6	
46											
47		Расхождение количества рейсов (плана и факта)			-6						
48		Соотношение количества рейсов (своих и чужих) план			14	14					
49		Соотношение количества рейсов (своих и чужих) факт			11	11					
50		Объем перевозки (своих и чужих) план									
51		Объем перевозки (своих и чужих) факт									
52											
53											

Рисунок 4.3 - Сравнение расчетного плана и фактического на 9 августа



Анализ сопоставления расчетного и фактического планов на 9 августа представлен в таблицах 4.5-4.6.

Таблица 4.5 - Сопоставление рейсов бензовозов на 9 августа

Бензовоз	Расчет рейсы	свои	чужие	Факт рейсы	свои	чужие	Расхождение количества рейсов
SCANIA(002)	3	3		3	3		0
КАМАЗ (О106ЕН) (т 787 тм)	3	3		2	2		-1
МАЗ(т 796 ое)	4	4		3	3		-1
SCANIA(003)	4	4		3	3		-1
Камаз(х 024 тр)	3		3	2		2	-1
МАЗ(о 928 кр)	3		3	1		1	-2
МАЗ(х 482 ау)	2		2	3		3	1
МАЗ(а162км)	3		3	3		3	0
Камаз(у 009 не)	3		3	2		2	-1
ИТОГО	28	14	14	22	11	11	-6

Таблица 4.6 - Сопоставление планов (объем перевозки) на 9 августа

Параметр	свои	чужие
Расхождение количества рейсов (расчет и факт)	-3	-3
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) расчет	14	14
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) факт	11	11
Объем перевозки (своих и чужих) расчет	200076	152974
Объем перевозки (своих и чужих) факт	156929	120361

Как видим, фактические результаты отличаются от расчетных, в факте количество рейсов и своих, и чужих бензовозов было меньше, чем в расчетном плане. В целом, соотношений своих и чужих рейсов в обоих случаях одинаково. Алгоритм в данном случае ведет более жадную стратегию по объему поставок и количеству рейсов.

Эксперимент 2 (10 августа). Фактические результаты планирования рейсов диспетчером на 10 августа представлены на рисунке 4.4.

	R	S	T	U	V	W	X	Y
1					ГАЗПРОМ			ГПН Шебры
2	ДТ-	ДТ-3			98			95
3	ДНЕВНОЙ развоз 10 августа							
4								
5		10 720			10 720			
6	ДТ-	5360		95	5360			
7	ДТ-	5360		92	5360			
8								
9								
10								
11								
12								
13	НОЧНОЙ развоз 10-11 августа							
14								
15		14 935			14 935			
16	95	7475		95	7475			
17	92	7460		95	7460			
18								
19		14 900			14 900			
20	95	7470		95	7470			
21	92	7430		92	7430			
22								
23		14 900			14 900			
24	95	7480		95	7480			
25	92	7420		92	7420			
26								
27		11 035			11 035			
28	ДТ-	5855		ДТ-	5855			
29	ДТ-	5180		ДТ-	5180			
30								
31		10 725			10 725			
32	95	5395		95	5395			
33	92	5330		92	5330			
34								
35		10 760			10 760			10 760
36	92	5370		95	5370		95	5370
37	92	5390		92	5390		92	5390

Рисунок 4.4 - Фактический план на 10 августа

План развоза по результатам моделирования представлен на рисунке 4.5.

номер рейса	Бензовоз	НБ	Плановое время начала	Плановое время окончания	Состояние	Статус	Место начала рейса	Время прибытия на НБ	Время завершения в заправке на НБ	АЗС 1	Время прибытия на АЗС 1	Время завершения в заправке на АЗС 1	АЗС 2	Время прибытия на АЗС 2	Время завершения в заправке на АЗС 2
1	MA3(т 796 ое)	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	13:15:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	10:45:00	АЗС №108 Полевской Ком	12:30:00	13:15:00			
2	SCANIA(A 800 PH)	Склад ГСМ п. Лосиний	6:30:00	8:35:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п. Лосиний	6:30:00	7:15:00	АЗС №108 Реж	7:50:00	8:35:00			
3	SCANIA(002)	Склад ГСМ п. Лосиний	6:30:00	9:32:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п. Лосиний	6:30:00	7:15:00	ААЗС №115 Уральская	8:02:00	9:32:00			
4	SCANIA(A 800 PH)	Склад ГСМ п. Лосиний	8:35:00	12:41:00	V	не выполнен	АЗС №108 Реж	9:10:00	9:55:00	ААЗС №118 Бебеля	11:11:00	12:41:00			
5	MA3(т 796 ое)	Склад ГСМ п. Лосиний	13:15:00	17:05:00	V	не выполнен	АЗС №108 Полевской Ком	15:00:00	15:45:00	АЗС №108 Реж	16:20:00	17:05:00			
6	MA3(т 796 ое)	Склад ГСМ п. Лосиний	17:05:00	19:45:00	V	не выполнен	АЗС №108 Реж	17:40:00	18:25:00	АЗС №108 Реж	19:00:00	19:45:00			
7	(у 008 не)	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	13:10:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	10:45:00	ААЗС №114 Волгоградская	11:40:00	13:10:00			
8	MA3(т 796 ое)	Склад ГСМ п. Лосиний	19:45:00	22:50:00	V	не выполнен	АЗС №108 Реж	20:20:00	21:05:00	ААЗС №128 Автоматриалы	22:05:00	22:50:00			
9	SCANIA(002)	Склад ГСМ п. Лосиний	9:32:00	13:34:00	V	не выполнен	ААЗС №115 Уральская	10:19:00	11:04:00	ААЗС №128 Автоматриалы	12:04:00	12:49:00	ААЗС №121 Автоматриал	12:49:00	13:34:00
10	(у 008 не)	Склад ГСМ п. Лосиний	13:10:00	17:15:00	V	не выполнен	ААЗС №114 Волгоградская	14:05:00	14:50:00	ААЗС №120 Шарца	15:45:00	17:15:00			
11	SCANIA(002)	Склад ГСМ п. Лосиний	13:34:00	17:03:00	V	не выполнен	ААЗС №121 Автоматриал	14:35:00	15:20:00	ААЗС №101 Малышева	16:18:00	17:03:00			
12	Камаз(у 009 не)	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	12:28:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	10:45:00	АЗС №101 Малышева	11:43:00	12:28:00			
13	(у 008 не)	Склад ГСМ п. Лосиний	17:15:00	21:16:00	V	не выполнен	ААЗС №120 Шарца	18:10:00	18:55:00	ААЗС №123 Ткачей 7а	19:46:00	21:16:00			
14	SCANIA(A 800 PH)	Склад ГСМ п. Лосиний	12:41:00	17:11:00	V	не выполнен	ААЗС №118 Бебеля	13:57:00	14:42:00	ААЗС №124 Амурская 118	15:41:00	17:11:00			
15	Камаз(х 024 тр)	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	14:25:00	V	не выполнен	Склад ГСМ п. Лосиний	10:00:00	10:45:00	ААЗС 135, г.Камениск-Урал	12:55:00	14:25:00			

Рисунок 4.5 - План развоза из СППР на 10 августа

Результаты сравнения планов экспериментального и фактического на 10 августа представлены на рисунке 4.6.

	План рейсы	свои	чужие	Факт рейсы	свои	чужие	Расхождение кол-ва рейсов
MA3(т 796 ое)	4	4		2	2		-2
SCANIA(A 800 PH)	3	3		2	2		-1
SCANIA(002)	3	3		2	2		-1
SCANIA(003)				2	2		2
(у 008 не)	3		3	2	2		-1
Камаз(у 009 не)	1		1	2	2		1
Камаз(х 024 тр)	1		1	3	3		2
<b>Итого</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
Расхождение количества рейсов (плана и факта)			0				
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) план		10	5				
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) факт		8	7				
Объем перевозок (своих и чужих) план							
Объем перевозок (своих и чужих) факт							

Рисунок 4.6 - Сравнение планов на 9 августа

Анализ сопоставления расчетного и фактического планов на 10 августа представлен в таблицах 4.7-4.8.

Таблица 4.7 - Сопоставление рейсов бензовозов на 10 августа

Бензовоз	План рейсы	свои	чужие	Факт рейсы	свои	чужие
MA3(т 796 ое)	4	4		2	2	
SCANIA(A 800 PH)	3	3		2	2	
SCANIA(002)	3	3		2	2	
SCANIA(003)				2	2	
(у 008 не)	3		3	2		2
Камаз(у 009 не)	1		1	2		2
Камаз(х 024 тр)	1		1	3		3
<b>ИТОГО</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>7</b>

Таблица 4.8 - Сопоставление планов (объем перевозки) на 10 августа

<b>Интегральный анализ рейсов</b>	<b>свои</b>	<b>чужие</b>
Расхождение количества рейсов (расчет и факт)	-2	2
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) расчет	10	5
Соотношение количества рейсов (своих и чужих) факт	8	7
Объем перевозки (своих и чужих) расчет, л	133645	53645
Объем перевозки (своих и чужих) факт, л	111540	75170

Количество рейсов одинаковое. Как видно из результатов эксперимента, алгоритм по сравнению с действиями диспетчера больше заявок отдал на выполнение своему парку бензовозов (соотношение 10 к 5, по сравнению с фактическим 8 к 7), соответственно объем перевозки топлива своими бензовозами увеличился.

При планировании развоза топливные предприятия сталкиваются с ситуациями, когда по отдельным видам топливам или в целом по нефтебазам, возникает необходимость существенного увеличения развоза топлива (в среднем превышающего минимальные потребности АЗС). В данных ситуациях по заданным видам топлива идет заливка емкостей АЗС «под горло». В таблицах 4.9 и 4.10 предоставлены результаты сопоставления фактических и расчетных планов в ситуациях стратегий увеличения вывоза 92 и ДТ.

Таблица 4.9 - Сопоставление планов конец сентября – начало октября  
(рейсы / объемы перевозок)

Дата	Количество рейсов факт	Количество рейсов расчет	Объем перевозки факт, л	Объем перевозки расчет, л
22.09.2015	24	22	330955	303530
23.09.2015	7	14	105504	249972
24.09.2015	22	20	303036	304103
25.09.2015	16	18	242312	267848
28.09.2015	21	21	338067	320061
29.09.2015	23	19	344424	289223
30.09.2015	20	19	251136	289761
02.10.2015	18	29	264748	440392
03.10.2015	18	23	275179	349396
04.10.2015	20	20	303533	305164
<b>ИТОГО:</b>	<b>189</b>	<b>205</b>	<b>2758894</b>	<b>3119450</b>
отклонение объема перевозки расчета к факту				<b>1,1306886</b>

Таблица 4.10 -Сопоставление планов конец сентября – начало октября  
(стратегия развоза)

Дата	Рейсов факт	Рейсо в расчет	Объем факт 92, л	Объем расчет 92, л	Объем факт Дт, л	Объем расчет Дт, л	Коммен- тарий по стратегии развоза	Объем факт по стратегии и сумма	Объем план по стратегии и сумма
22.09.2015	24	22	<b>189493</b>	<b>119571</b>	55804	71666	Увеличить вывоз 92	234381	207861
23.09.2015	7	14	<b>44888</b>	<b>88290</b>	15448	75014	Увеличить вывоз 92		
24.09.2015	22	20	132606	87291	61792	80909		256142	301354
25.09.2015	16	18	118313	76958	<b>30896</b>	<b>74419</b>	Увеличить вывоз ДТл		
28.09.2015	21	21	153677	92691	<b>90470</b>	<b>69606</b>	Увеличить вывоз ДТл		
29.09.2015	23	19	165059	106968	<b>70672</b>	<b>78642</b>	Увеличить вывоз ДТл		
30.09.2015	20	19	81536	98633	<b>64104</b>	<b>78687</b>	Увеличить вывоз ДТл		
02.10.2015	18	29	<b>144351</b>	<b>166657</b>	39776	118872	Увеличить вывоз 92		
03.10.2015	18	23	<b>121916</b>	<b>162381</b>	70672	76717	Увеличить вывоз 92	460251	428334
04.10.2015	20	20	<b>193984</b>	<b>99296</b>	30896	78044	Увеличить вывоз 92		
<b>ИТОГО:</b>	<b>189</b>	<b>205</b>						<b>950774</b>	<b>937549</b>
отклонение объема перевозки расчета к факту по топливу стратегии развоза									0,98609

Результаты вычислительных экспериментов имитационной модели сопоставлены с фактическими данными развоза и показали сходимость результатов в части рейсов и объема перевозки топлива. Результаты анализа данных таблиц показывают, что метод, реализованный в СППР, показывает более жадную стратегию по количеству рейсов и объему перевозок (в среднем выше на 13%). Однако метод уступает действиям диспетчера в части объема топлива, заданного стратегией развоза на 1,4 %. В результате внедрения были разработаны мультиагентные модели процессов снабжения сети АЗС в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS, в системе принятия решений BPsim.DSS и "Планировщик", реализующие алгоритмы планирования и диспетчеризации.

Результаты экспериментов на данных показали следующие результаты:

- 1) экспериментальный план дает согласованность с результатами

фактического плана, составленного специалистом-диспетчером;

2) использование автоматического алгоритма планирования позволяет учитывать предпочтения лица, принимающего решения, в части стратегий развоза, приоритетность обслуживания емкостей АЗС, ограничения по транспортным средствам (бензовозам) и АЗС (в части обслуживания бензовозами);

3) общий экономический эффект от решения задачи перехода к ночному и смешанному (день/ночь) развозу составил 58 миллионов рублей в год.

#### **4.2. Задача анализа работы станции технического обслуживания**

Решение задач анализа, совершенствования и планирования работы станции технического обслуживания имеет перспективы для повышения ее эффективности. Применение методов планирования и диспетчеризации позволяет только решать задачу с учетом ограничений, накладываемых структурой станции (ее потенциальной пропускной способности, специализированным оборудованием, обслуживающим персоналом), что не позволяет анализировать варианты, связанные со структурными изменениями (такими как модернизация постов, оборудования, смена схемы движения) [66].

Предварительным этапом построения модели стала автоматизация работы мастеров станции. В результате, с помощью автоматизированной системы, удалось собрать статистику необходимую для построения мультиагентной имитационной модели.

Автосервис разбит на посты. Каждый пост выполняет определенные работы и может обслуживать только один автомобиль. Работы могут быть следующими: технический осмотр (ТО), экспресс ТО, ремонт, гарантийный ремонт, регулировка углов установки колес (развал/схождение), установка дополнительных аксессуаров. Структура станции технического обслуживания

представлена рисунке 4.7.

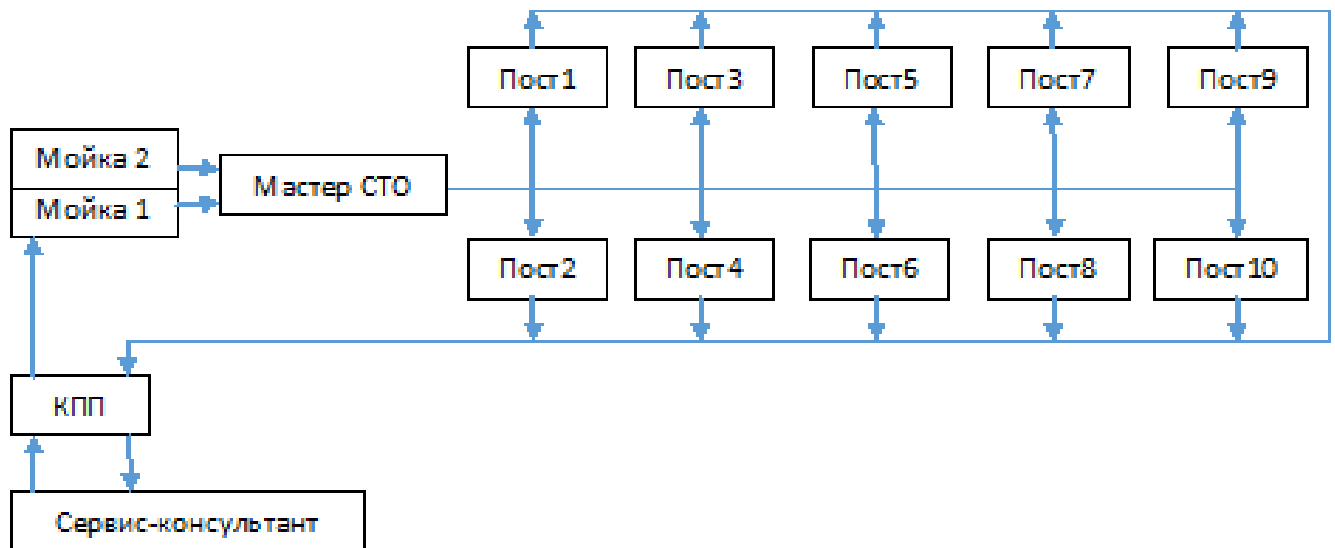


Рисунок 4.7 - Структура станции технического обслуживания

Каждый пост специализирован на определенный вид работы. Так посты 1, 3, 4-6 предназначены для автомобилей весом не более двух тонн, а посты 7 и 10 для автомобилей не более четырех тонн и каждый из них может выполнять ТО, ремонт и гарантийный ремонт. Пост 2 предназначен для автомобилей весом не более двух тонн и выполнения экспресс ТО, ремонта и гарантийного ремонта. Что касается поста 8, то он отличается от 7 и 10 тем, что добавляется возможность регулировки углов установки колес. Пост 9 предназначен для автомобилей весом не более четырех тонн и способен выполнить установку дополнительных аксессуаров. Задача заключается в создании имитационной модели станции технического обслуживания и её дальнейшего исследования с целью выявления узких мест в связи с тем, что в некоторых постах наблюдается высокая загруженность. Совершенствование работы станции технического обслуживания позволит повысить ее производительность [66].

Для построения модели станции технического обслуживания были получены данные с автоматизированных рабочих мест (АРМ-ов) мастеров. Данные включают в себя: нормативы обслуживания разных типов автомобилей, длительность выполнения видов работ, статистика распределения автомобилей и

видов работ в течение дня [66].

Модель разработана в проблемно-ориентированной системе BPsim.MAS. На рисунке 4.8 представлена структура модели станции технического обслуживания в нотации МППР. Согласно нотации МППР узлы модели представлены либо агентами, либо операциями. Агент является программной сущностью, которая содержит продукционную базу знаний. Операции способны задерживать заявки, изменять их параметры, пополнять или расходовать ресурсы, а также занимать или освобождать средства (пример агента – «Рабочий день», пример операции – «Очередь»).

Станция технического обслуживания

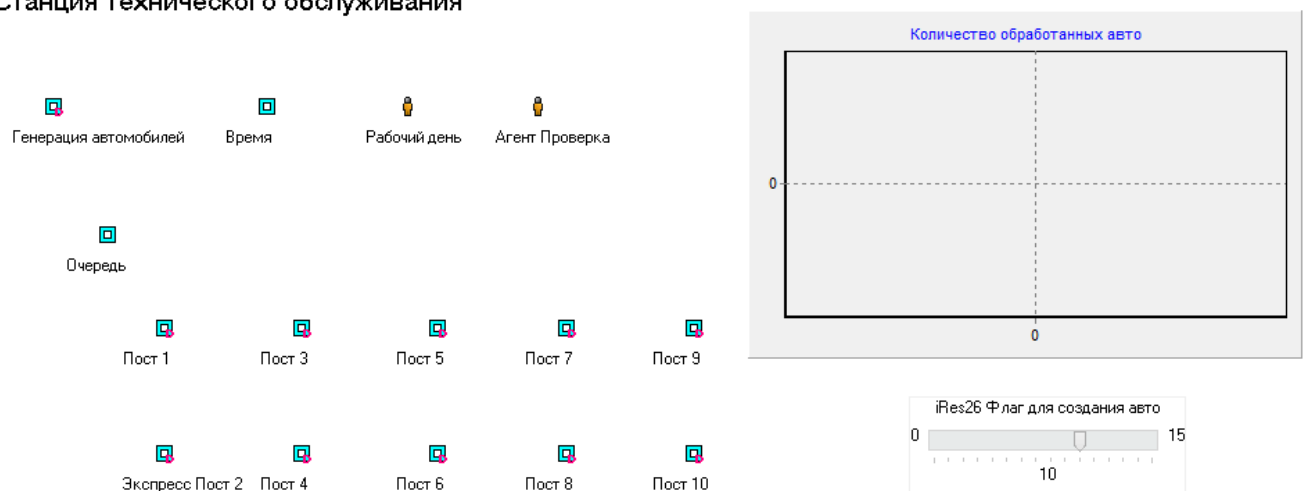



Рисунок 4.8 - Структура модели станции технического обслуживания

В данной модели используется 1 вид заявки – Автомобиль(z1). У заявок существует возможность добавлять атрибуты необходимые пользователю. На рисунке 4.9 представлены атрибуты заявки z1. Они позволяют определить к какой модели относится автомобиль, его тоннажность, какие работы необходимы автомобилю, а также время, которое понадобится на выполнение этих работ.










Добавить заявку

— □ ×

Наименование

Дополнительные параметры заявки -  
допускаются любые наименования латинскими буквами, не должны совпадать с  
наименованиями служебных параметров  
Для служебных параметров зарезервированы следующие наименования: Cnt, DBID, Lock,  
ID, Owner, Parent, PlanLock, Start, SysName, TimeEx, ParentID

Тип	Наименование	Описание
строковый	model	Модель автомобиля
числовой	accessories	Автомобилу требуется установка аксессуаров
числовой	beat	На каком такте заявка поступила на узел
числовой	garantRepair	Автомобилу требуется Гарантийный ремонт
числовой	milage	Пробег автомобиля
числовой	needTonnage	Тоннажность автомобиля
числовой	post	На каком посту находится автомобиль
числовой	priority	Приоритет на выполнение
числовой	repair	Автомобилу требуется Ремонт
числовой	techInspection	Автомобилу требуется ТО
числовой	timeAccessories	Время выполнения Аксессуары
числовой	timeGarantRepair	Время выполнения Гарантийный ремонт
числовой	timeRepair	Время выполнения Ремонт
числовой	timeTechInspection	Время выполнения ТО
числовой	timeW/wheelAlignment	Время выполнения развал/схождение
числовой	wheelAlignment	Автомобилу требуется развал/схождение

Применить

Отмена

Рисунок 4.9 - Атрибуты заявки Автомобиль(z1)

Работу имитационной модели СТО условно можно разделить на две части:

- 1) генерация автомобилей и установка атрибутов;
- 2) работа постов.

На рисунке 4.10 представлена схема работы модели (стрелками указаны движения заявок).

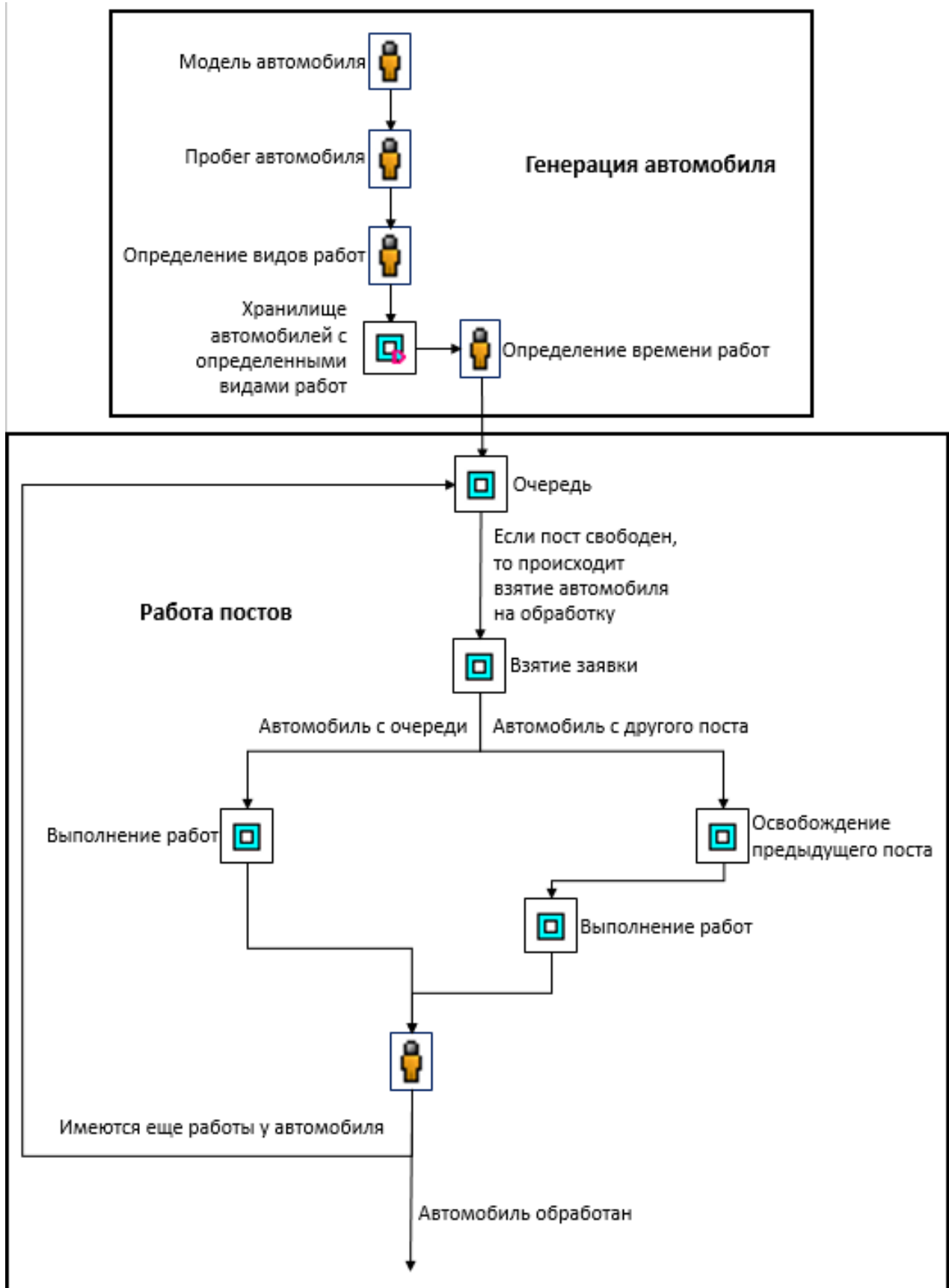


Рисунок 4.10 - Схема работы модели

В модели присутствует узел "генерация автомобилей", который отвечает за создание заявок (автомобилей) в соответствие с предоставленными статистическими данными и устанавливает все необходимые атрибуты для дальнейшего моделирования. Далее эти заявки поступают на узел "управляющий" откуда их распределяют по постам на обработку[66].

Агент «Модель автомобиля» отвечает за создание заявки «Автомобиль», установление атрибута модели(z1\_model), установление атрибута такт поступления(z1\_beat) и атрибута тоннажности автомобиля(z1\_needTonnage). Атрибут модели задается в соответствии с предоставленной статистикой следующим образом: при помощи функции Random() получаем случайное число, а далее в зависимости от того в какой диапазон попадет это число определяется модель автомобиля. Возможные ситуации агента «Модель автомобиля» представлены на рисунке 4.11.

№	ИМЯ СИТУАЦИИ	IF	THEN	ТЕКСТОВОЕ ОПИСАНИЕ
1	Поступление заказа	(iRes1>0)&(iRes26<>0)	(iRes3:=Random(30))	Поступление заказа
2	Corolla	(iRes3=0)&(iRes3<=6)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="Corolla")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=2)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля Corolla
3	Avensis	(iRes3=7)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="Avensis")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=2)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля Avensis
4	Camry	(iRes3=8)&(iRes3<=13)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="Camry")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=2)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля Camry
5	LC120	(iRes3=14)&(iRes3<=17)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="LC120")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=4)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля LC120
6	LC100	(iRes3=18)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="LC100")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=4)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля LC120
7	LC200	(iRes3=19)&(iRes3<=22)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="LC200")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=4)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля LC200
8	Rav	(iRes3=23)&(iRes3<=28)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="Rav")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=2)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля Rav
9	Hiace	(iRes3=29)&(iRes26<>0)	(CreateOrder(z1))&(z1_model="Hiace")&(z1_owner="a5")&(z1_needTonnage:=4)&(z1_beat:=iRes39)	Модель автомобиля Hiace
10	--Флаг на создание авто	(iRes26<>0)	(iRes26:=iRes26+1)	--Флаг на создание авто

Рисунок 4.11 - Возможные ситуации агента «Модель автомобиля»

После агента «Модель автомобиля» заявка поступает на агента «Пробег автомобиля, где при помощи функции Random() устанавливается атрибут пробега автомобиля(z1\_milage) от 1000 км до 121000 км и передает заявку агенту «Определение видов работ».

Агент «Определение видов работ» в соответствии с предоставленными статистическими данными определяет, какие работы установить автомобилю. Если автомобиль проходит ТО, то в атрибуте заявки устанавливается значение 1 (z1\_techInspection:=1). Стоит сразу сказать, что если данный вид работы выполнен для автомобиля, то значение атрибута становится равным 2.

Далее заявка передается одному из узлов декомпозированного узла «Виды работ» (рисунок 4.12).

## Виды работ

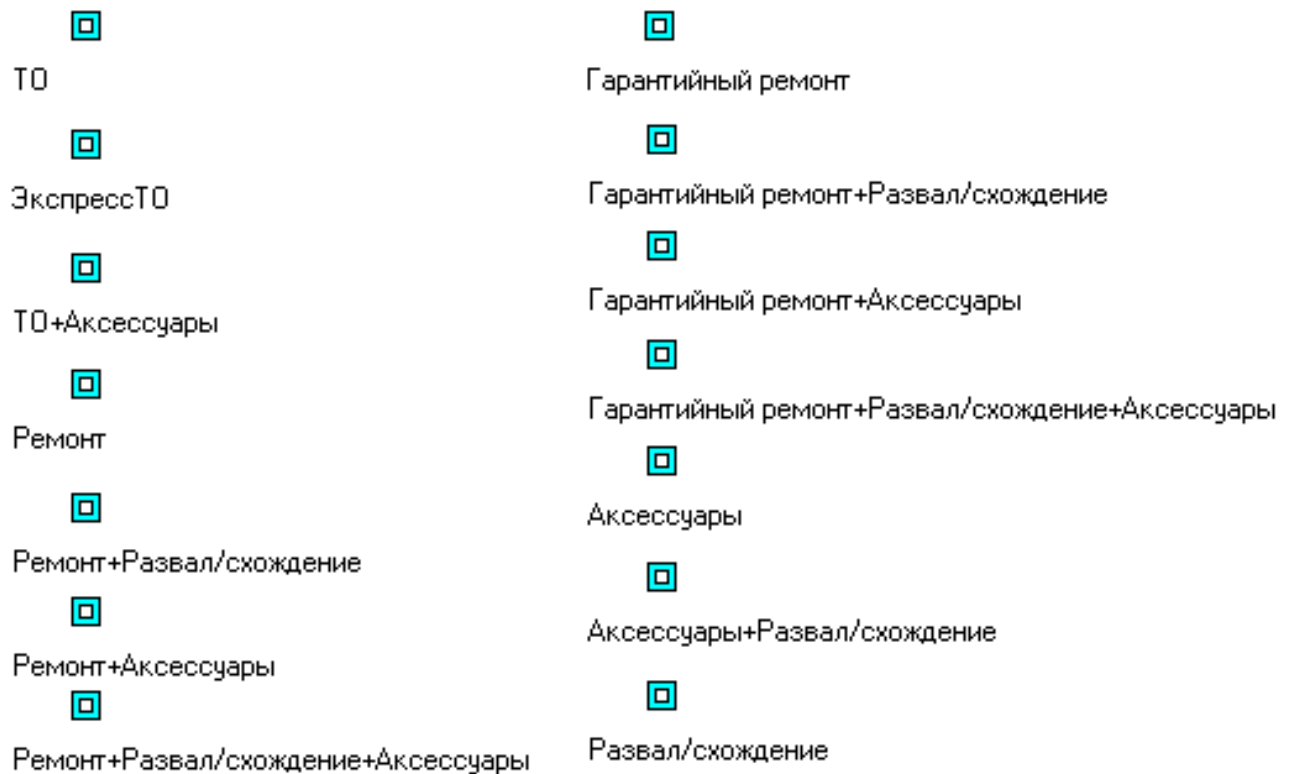


Рисунок 4.12 - Декомпозиция узла «Виды работ»

Далее происходит определение времени назначенных работ. Агент «Определение времени работ» устанавливает значения атрибутов заявки, которые отвечают за время выполнения работ, в соответствии с ранее сгенерированной конфигурацией автомобиля и предоставленным данным. После агент передает автомобиль узлу «Очередь».

Вторая часть работы имитационной модели — это обработка заявок на постах. После того как заявка пришла на узел «Очередь» посты начинают подбирать «подходящий» автомобиль для выполнения работы. При проведении нескольких работ над автомобилем после первой работы этот автомобиль остается на посту, на котором была произведена работа (номер поста заносится в атрибут заявки `z1_post`) до того пока его не заберет другой пост.

Рассмотрим «Пост 1». Декомпозированный «Пост 1» представлен на рисунке 4.13.

Пост 1

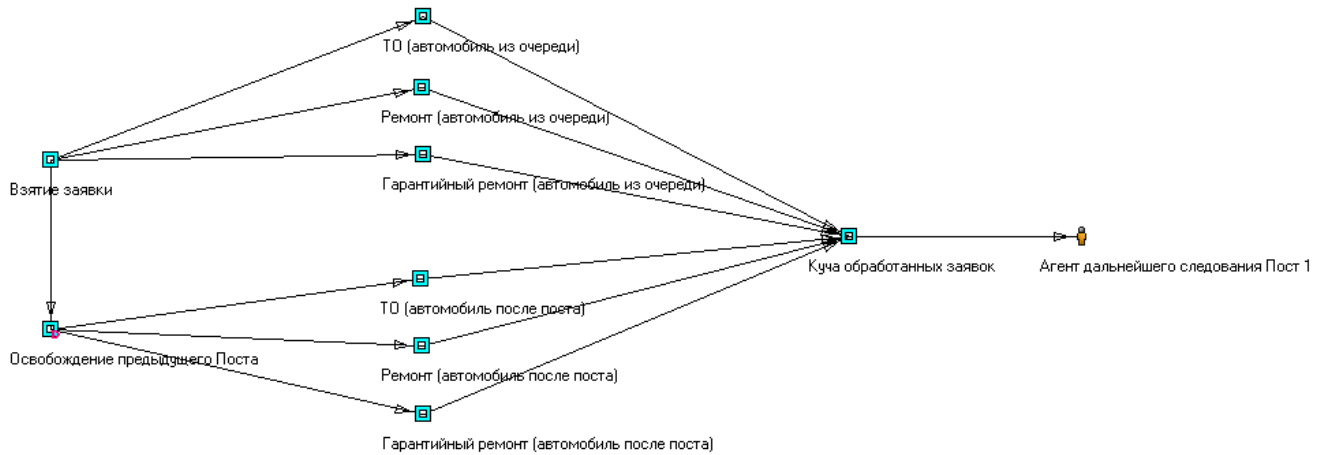


Рисунок 4.13 - Декомпозиция узла «Пост 1»

Взятие заявки из очереди происходит в узле «Взятие заявки». Если пост свободен и способен обработать автомобиль, то он забирает заявку. Далее если эта заявка обрабатывается впервые, то в зависимости от того какая работа ей нужна она пойдет на один из следующих узлов: «ТО (автомобиль из очереди)», «Ремонт (автомобиль из очереди)», «Гарантийный ремонт (автомобиль из очереди)». Допустим, что автомобилю нужен ТО, тогда этот автомобиль задерживается на узле «ТО (автомобиль из очереди)» на время, которое записано в атрибуте заявки *z1\_timeTechInspection*, определенное еще в первой части работы модели. На выходе из узла получается заявка с атрибутом *z1\_techInspection* равным 2 т.е. работа (в данном случае ТО) выполнена. В атрибут *z1\_post* заносится номер поста, на котором происходила работа (в дальнейшем этот атрибут пригодится для освобождения этого поста, если автомобиль перейдет на другой пост или будет считаться обработанным). После этого заявка передается узлу «Обработанные заявки».

После освобождения предыдущего поста, заявка идет на обработку в зависимости от того, какая работа ей нужна: «ТО (автомобиль после поста)», «Ремонт (автомобиль после поста)», «Гарантийный ремонт (автомобиль после поста)». Логика этих узлов такая же, как и у узлов «ТО (автомобиль из очереди)», «Ремонт (автомобиль из очереди)», «Гарантийный ремонт (автомобиль из очереди)».

Далее «Агент дальнейшего следования Пост 1» решает, что делать с заявкой. Существует два варианта. Первый: если автомобилю требуются еще работы, то владельцем заявки назначается узел «Очередь» откуда другие посты смогут забрать её. Второй: если автомобилю больше не требуются работы, то необходимо увеличить число обработанных автомобилей, освободить занятый пост и удалить заявку. Стоит отметить, что посты 2-7,10 идентичны узлу «Пост 1».

Рассмотрим «Пост 8», декомпозиция которого представлена на рисунке 4.14.

Пост 8

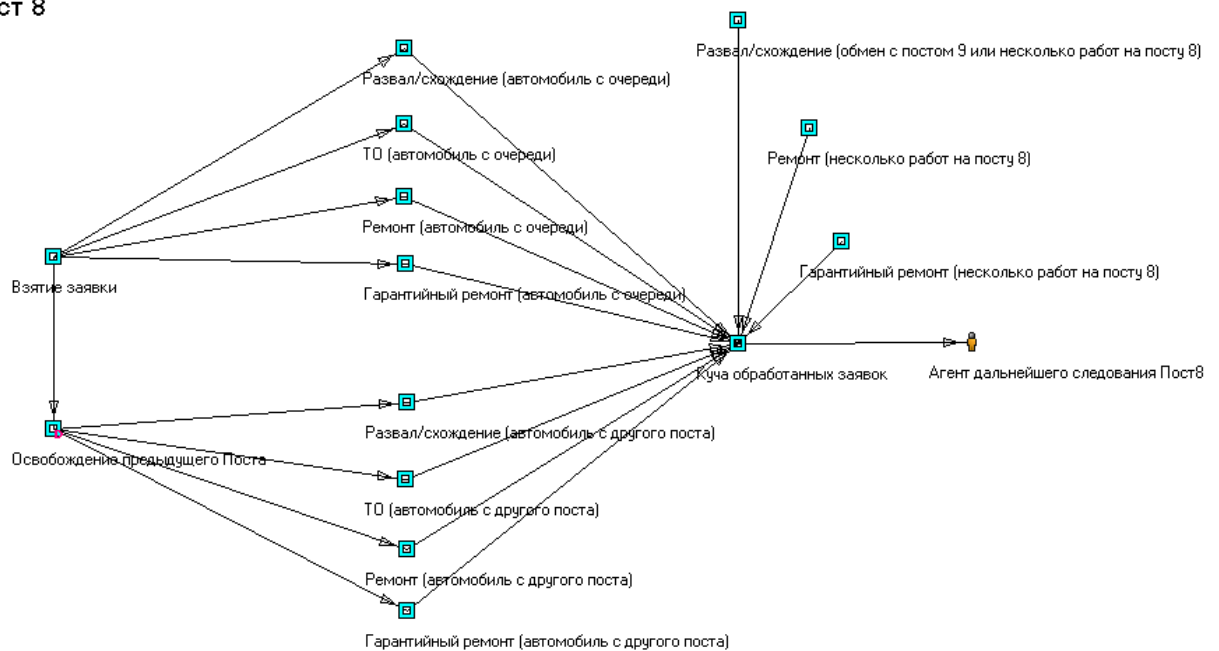


Рисунок 4.14 - Декомпозиция узла «Пост 8»

Основное отличие от узла «Пост 1» – это наличие узлов «Развал/схождение (автомобиль с очереди)» и «Развал/схождение (автомобиль с другого поста)». Эти узлы ответственные за выполнение работы регулировки углов установки колес (развал/схождение). Во всем остальном «Пост 8» практически идентичен узлу «Пост 1». Детализация блока «Пост 9» представлена на рисунке 4.15.

## Пост 9

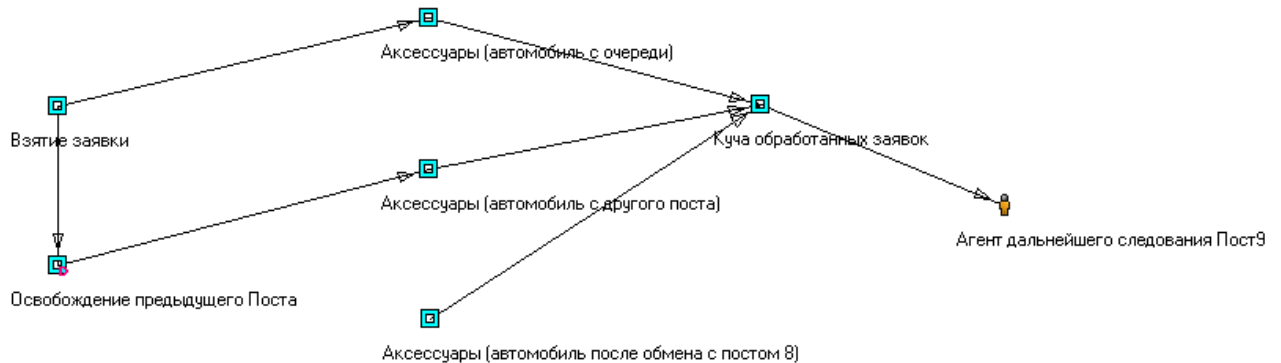


Рисунок 4.15 –Детализация узла «Пост 9»

«Пост 9» занимается только установкой аксессуаров: «Аксессуары (автомобиль с очереди)» и «Аксессуары (автомобиль с другого поста)». Взятие заявки и освобождение поста реализовано точно так же, как и в узле «Пост 1».

### Результаты экспериментов

Результаты работы модели показали, что имеются узкие места, например, Посты 8 и 9 имеют высокую загрузку и большую очередь. Посты 5 и 6 имеют низкую загрузку. Образуется очередь высокотоннажных автомобилей. Данные результаты согласуются с реальной статистикой станции технического обслуживания. По результатам экспериментов были предложены следующие рекомендации: Во-первых, модернизировать Пост 6, заменив двухстоечный подъёмник на четырехстоечный и оборудовать его системой регулировки углов колес (рисунок 4.16). Тем самым решается проблема нехватки постов с подъёмностью выше двух тонн, а оборудование этого подъёмника системой регулировки углов колес позволит разгрузить единственный пост регулировки развал/схождения (Пост 8).

## Пост 6

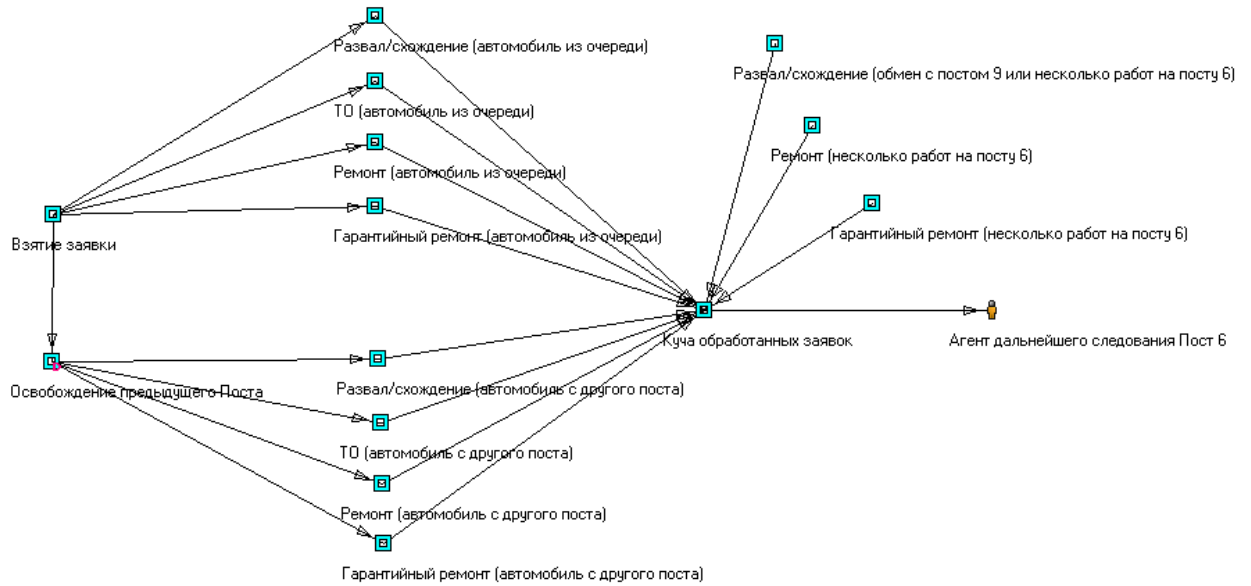


Рисунок 4.16 - Модернизированный узел «Пост 6»

Во-вторых, модернизировать Пост 5, увеличив максимальную тоннажность подъёмника и введя дополнительную возможность установки аксессуаров, тем самым решается проблема высокой загрузки и большой очереди на Посту 9 (рисунок 4.17) [66].

## Пост 5



Рисунок 4.17 - Модернизированный узел «Пост 5»

В таблице 4.11 представлены исходные данные и результаты экспериментов. Первый эксперимент с модернизацией Поста 6 показал, что обрабатывается за



месяц большее количество авто, чем модель с начальными условиями. Это обусловлено повышением загрузки Поста 6, но по-прежнему Пост 5 имеет низкую загрузку, а Пост 9 большую очередь заявок. Второй эксперимент показал хорошие результаты: количество обработанных автомобилей больше. Также удалось повысить загрузку постов и уменьшить очереди [66].

Таблица 4.11 - Результаты экспериментов

Показатели	Результаты модели с начальными условиями	Результаты модели с модернизированным постом 6	Результаты модели с модернизированными постами 5 и 6
Загруженность Поста 5, %	33,4	36,3	99,6
Загруженность Поста 6, %	21,9	93,9	97,5
Загруженность Поста 8, %	97,8	88,3	96,2
Загруженность Поста 9, %	99,3	99,5	92,8
Среднее время обработки автомобиля, ч	7,6	6,7	4,2
Количество обработанных автомобилей, (за месяц)	417	464	736

Разработанная модель станции технического обслуживания (СТО) была применена для решения задачи устранения «узких мест» работы постов. В результате проведения серии экспериментов в BPsim.MAS были предложены рекомендации по совершенствованию работы станции технического обслуживания: увеличение тоннажности подъемников на постах 5 и 6, установка системы регулировки углов колес, дополнительная возможность установить аксесуары. С использованием АРМ-ов мастеров и набранной статистики удалось пересмотреть нормативы на несколько видов работ СТО "Тойота Центр Екатеринбург Юг" (ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург»).

В результате анализа работы станции технического обслуживания "Тойота Центр Юг Екатеринбург" и выработки рекомендаций по совершенствованию в части увеличения тоннажности двух подъемников, установки дополнительной системы регулировки углов колес, а также возможности установки аксесуаров на дополнительном подъемнике, они были внедрены в ЗАО "Альянс Мотор Екатеринбург". Экономический эффект от реализации принятых решений на СТО "Тойота Центр Юг Екатеринбург" состоит в увеличении объема предоставляемых услуг на 8% в месяц.

#### **4.3. Задача планирования цепи поставок для сети магазинов стройматериалов**

Решение логистических задач лежит в основе успешного ведения бизнеса. Увеличение количества машин на дорогах и объёма товаров, служит основанием для создания эффективной системы принятия решений, способной прокладывать оптимальный маршрут, распределять время отправки грузов, рассчитывать и избегать возникновения очередей при разгрузке.

С данной проблемой в той или иной степени сталкиваются все сети розничной торговли, но особенно остро она проявляется в среде магазинов, занимающихся торговлей строительными материалами. Обычно, сети строительных магазинов имеют распределённую систему складов и широкий охват точками розничной и оптовой торговли. Основная задача: моделирование логистической цепочки (загрузку грузового автомобиля необходимым товаром согласно пунктам заказа, составленного магазинами), выполнение рейса, с последующей разгрузкой и возвращением автомобиля на базу.

С применением системы BPsim.MAS была разработана мультиагентная ИМ работы логистической цепочки сети строительных магазинов, которая состоит из 152 операций, 78 ресурсов, 12 агентов. Спрос в различных магазинах и ассортимент выделен в 5 укрупненных групп на основе анализа статистики усредненного спроса сети. Дополнительным фактором, который используется в модели, является прибытие и разгрузка на одном из складов КАМАЗа, для восполнения склада продукцией. Разгрузка КАМАЗа полностью блокирует склад.

Отдел логистики координирует работу складов, магазинов и парка транспортных средств. Согласно опыту, на снабжение 1 магазина строительной сети выделяется 1 грузовой автомобиль. В среднем, в зависимости от ассортимента заявки, грузовой автомобиль совершает 2 рейса для ее выполнения, что связано с ограничениями по грузоподъемности транспортного средства, средним объемом грузоперевозки заявки и требованиями к транспортировке грузов отдельных категорий товаров.

Определены следующие требования к модели: 1) учёт загрузки грузового автомобиля; 2) распределение времени – планирование отдельных операций так, чтобы при решении отсутствовали «окна», задержки на погрузку и разгрузку.

### **Применение метода мультиагентного имитационного планирования работ по грузоперевозкам**

Разработана мультиагентная ИМ, которая включает в себя цепь поставки и складской терминал. В модели используются несколько типов заявок (транзактов). В процессе работы модели экземпляры одного типа заявок порождают другие заявки. Так, приход заявки от магазина порождает на складском терминале заявку на работу грузового автомобиля, а на складе заявку на необходимые позиции товаров. В силу того, что для каждой из 5-ти групп товара (в силу его специфики и условий хранения) на терминале выделен отдельный склад, то данная заявка может порождать до 5-ти заявок на склады. На ряде складских терминалов "расщепление" заявки от магазина выполняют начальники складов, причем среднее время "расщепления" заказа и разбивки его на рейсы может составлять до 2-ух часов на заказ. "Расщепленные" складские заявки передаются кладовщикам, которые формируют товар на отгрузку.

На рисунке 4.18 показана работа транспортного средства и принцип объезда точек погрузки в системе моделирования BPsim.MAS (одно из реализованных правил загрузки автомобиля, когда сначала идёт загрузка тяжелого негабарита).

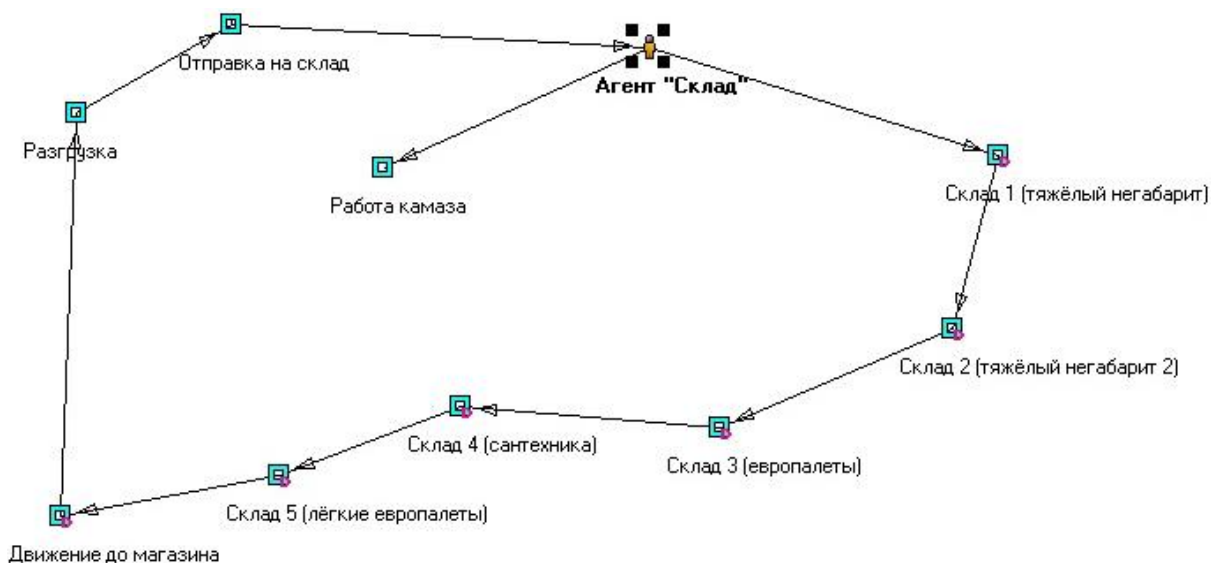


Рисунок 4.18 - Декомпозиция функционального блока «Склады»

Был проведен эксперимент, имитирующий работу склада за 9 дней и 14 часов. Склад обслуживает грузовики с 6 утра до 14 часов дня – дальнейшая отправка не имеет смысла (доставка в часть магазинов произойдет уже после закрытия). Целью было определить, сколько нужно задействовать грузовиков для выполнения пула из 18 групп заказов. Особенность вариантов погрузки транспортных средств ограничивается двумя возможными вариантами: погрузка начинается со складов негабарита ("Склад1" и "Склад2"). Таким образом, при одном посту погрузки на складе, во время первых рейсов параллельно может происходить погрузка не более двух автомобилей. После завершения загрузки тяжелым негабаритом, автомобиль направляется на другой склад. Среднее время погрузки на складе 1 час. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Один пост погрузки

Число грузовиков	Выполнено заказов	$t_{\text{общ}}$ , ч	$t_{\text{ож}}$ общ, ч	$t_1 / t_{\text{ож}}$ , ч	$t_2 / t_{\text{ож}}$ , ч	$t_3 / t_{\text{ож}}$ , ч	$t_4 / t_{\text{ож}}$ , ч	$t_5 / t_{\text{ож}}$ , ч	$t_6 / t_{\text{ож}}$ , ч
1	3	84	0	84/0	-	-	-	-	-
2	6	163	0	81/0	82/0	-	-	-	-
3	10	249	13	84/2	85/4	80/7	-	-	-
4	13	331	31	84/6	83/5	86/14	78/6	-	-
5	15	372	50	80/6	78/5	80/18	71/15	70/6	-
6	18	448	63	69/12	71/12	71/15	71/8	67/10	61/6

Где: число грузовиков – число работающих грузовиков;

выполнено заказов – выполненные группы заказов от магазинов;

$t_{\text{общ}}$ , ч – общее время работы грузовиков за время эксперимента в часах;

$t_{\text{ож}}$  общ, ч – общее время ожидания погрузки в часах;

$t_n / t_{\text{ож}}$ , ч – время работы грузовика/ время ожидания на погрузку в часах;

Из таблицы 4.12 можно сделать следующие выводы:

- ожидания при погрузке появляется, когда число грузовиков превышает 2;
- число выполненных заказов растет пропорционально числу грузовиков;
- время ожидания растёт пропорционально числу грузовиков, когда тех работает больше 2 и при выполнении всех 18-ти заказов составляет в среднем для каждого грузовика более 10 часов;

- для выполнения всех заказов, необходимо 6 грузовиков.

Был проведён эксперимент, показывающий работу склада при параллельной работе двух постов погрузки и двух пар погрузчиков на каждом складе, результаты представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Два поста погрузки

Число грузовиков	Выполнено заказов	$t_{\text{общ, ч}}$	$t_{\text{ож общ, ч}}$	$t_1 / t_{\text{ож, ч}}$	$t_2 / t_{\text{ож, ч}}$	$t_3 / t_{\text{ож, ч}}$	$t_4 / t_{\text{ож, ч}}$	$t_5 / t_{\text{ож, ч}}$	$t_6 / t_{\text{ож, ч}}$
1	3	82	0	82/0	-	-	-	-	-
2	6	159	0	79/0	80/0	-	-	-	-
3	11	259	0	90/0	89/0	80/0	-	-	-
4	14	352	0	89/0	94/0	86/0	83/0	-	-
5	16	366	31	82/6	77/5	66/9	69/3	72/8	-
6	18	435	35	79/1	76/5	72/8	72/10	72/6	64/5

Из таблицы 4.13 можно сделать следующие выводы:

- ожидание очереди на погрузку начинается тогда, когда число грузовиков превышает 4;
- когда работает 1-2 грузовика, склад по производительности не отличается от предыдущего эксперимента;
- число выполненных заказов растет пропорционально числу грузовиков, однако их число больше, чем в предыдущем эксперименте;
- для выполнения всех заказов необходимо 6 грузовиков.
- время ожидания растёт пропорционально числу грузовиков, когда их работает больше 4, так как возникают простои. При выполнении всех заказов среднее время ожидания погрузки составляет в среднем для каждого грузовика примерно 6 часов, что значительно лучше, чем в первом эксперименте.

Дополнительной стратегией планирования является расширение условий предыдущей серии экспериментов возможностью появления на складском терминале в течение часа 5-й машины через полчаса после загрузки первых четырёх, для того, чтобы попробовать уменьшить время ожидания и улучшить

эффективность склада. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Два поста погрузки и дополнительная машина

Число грузовиков	Вып. гр. зак.	$t_{\text{общ, ч}}$	$t_{\text{ож общ, ч}}$	$t_1/t_{\text{ож, ч}}$	$t_2/t_{\text{ож, ч}}$	$t_3/t_{\text{ож, ч}}$	$t_4/t_{\text{ож, ч}}$	$t_5/t_{\text{ож, ч}}$	$t_6/t_{\text{ож, ч}}$
5	18	400	14	84/4	82/1	87/5	75/2	72/2	-
6	18	407	45	79/4	66/9	71/6	65/8	64/7	62/11

Поскольку производительность склада при работе 4 грузовиков не будет отличаться от предыдущего режима, было решено посмотреть работу при 5 грузовиках.

Из таблицы 4.14 можно сделать следующие выводы:

- заказы выполняются при работе 5 грузовиков;
- применение 6 грузовиков увеличивает среднее время ожидания до 7,5 часов на грузовик;
- для 5 грузовиков время ожидания погрузки минимально из всех, менее 3 часов на грузовик, что говорит об оптимальности этого решения в плане увеличения производительности.

С помощью мультиагентной ИМ логистического подразделения были проведены три направленных эксперимента во временном интервале обработки 103 заявок. Было установлено, что для выполнения всех 18 групп заявок необходимо 6 грузовиков при работе 1 поста на каждом складе. Кроме того, было установлено, что параллельная работа двух постов на каждом складе даёт значительное повышение производительности в выполнении групп заказов, а также снижает общее время работы грузовика и время ожидания погрузки. Параллельная работа двух постов на каждом складе и один дополнительный грузовик позволяет обслужить весь пул заказов при парке в 5 машин, при том, что последний 5-й грузовик выезжает с задержкой в 30 минут, время ожидания в очереди на погрузку уменьшилось в среднем до 3-х часов.

Применение мультиагентного ИМ в сочетании позволило создать гибкую и легко настраиваемую модель для проведения направленных экспериментов. Можно, изменяя количество автотранспорта, складов и магазинов, расстояния

между пунктами, получить на выходе широкий спектр значений, характеризующих существующую сеть строительных магазинов и явно указывающих на «слабые звенья», где происходят наибольшие потери во времени. Проанализированы 3 варианта работы складского терминала. Данные, полученные в ходе экспериментов показали, что наилучшие результаты достигаются при одновременной работе 4 грузовиков и одного с запозданием на 30 минут.

#### **4.4. Выводы**

1. Как следует из данной главы, на основе результатов проведенных экспериментов и результатов внедрения, теоретические результаты диссертации прошли проверку в условиях действующих предприятий (Станции технического обслуживания ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург» и Единого диспетчерского центра ООО "Башнефть-Розница") и учебного заведения (акты внедрения размещены в приложении 1), что подтвердило правильность и обоснованность разработанных положений и выводов.
2. Программный комплекс планирования, состоящий из ПО "Планировщик" и VPsim работоспособен и обеспечивает возможность:
  - организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с СППР (вводе, корректировке данных, создании моделей и решении задач);
  - учетом конструктивных особенностей транспортных средств и их возможностей при обслуживании АЗС;
  - учетом расстояний удаленности объектов сети АЗС, учетом близких АЗС;
  - интеграцией со средствами мультиагентного ИМ процессов логистики;
  - поддержкой задач планирования и диспетчеризации в ручном, автоматическом и автоматизированном режиме.

## Заключение

В рамках данной работы получены следующие результаты:

1. Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных проблемно-ориентированных систем анализа и моделирования, планирования процессов логистики: AnyLogic, ARIS, BusinessStudio, G2, Magenta, BPsim. Ни одна из рассмотренных систем не отвечает всем требованиям. Наибольшие возможности для программной реализации метода планирования грузоперевозок (нефтепродуктообеспечения) дает семейство СППР BPsim и Magenta.
2. Разработаны требования к методу поддержки принятия решений планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций: 1) динамическое моделирование процессов логистической цепи: различные типы ресурсов, заявки, очереди заявок, конфликты на ресурсах; учет времени, расстояний; анализ узких мест; 2) составление плана перевозок: распределение заказов по транспортным средствам; учет предпочтений (эвристик) диспетчеров и специалистов по логистике; 3) поддержка полного цикла управления: реакция на внешнее событие; планирование / диспетчеризация.
3. Для решения задачи планирования развоза топлива по сети АЗС выявлены ограничения использования транспортной задачи, которые заключаются в следующем: 1) кратность объема перевозки груза должна быть кратна объему секции; 2) грузы не являются однородными и каждый груз (в зависимости от вида топлива) может транспортироваться в одной секции бензовоза; 3) не учитывается последовательность слива топлива бензовозом (в зависимости от конструктивных особенностей сливных устройств очередность слива секций может отличаться); 4) отсутствует составляющая времени в виде времен начала и окончания рейсов, времен погрузки/разгрузки; 5) отсутствует разделение на виды грузов или их маркировка (виды топлива (например, 92, 95, 98, Дт, 80)); 6) не учитывается



наличие у бензовоза нескольких секций; 7) не учитываются физические ограничения бензовозов по обслуживанию АЗС; 8) отсутствует возможность учесть предпочтения бензовозов по обслуживанию АЗС; 9) не учитывается возможность обслуживания близких АЗС одним бензовозом за рейс. Для метода Жанчивын Оюунгэрэл определены следующие недостатки: 1) каждый клиент обслуживается только одним маршрутом; 2) рассмотрен 1 вид груза; 3) грузоподъемность всех транспортных средств одинакова; 4) один склад (нефтебаза); 5) длительность смены не ограничена по времени; 6) планирование маршрута выполняется без учета срочности поставок, ограничений по наполняемости секций бензовозов. Таким образом, обоснована разработка нового метода.

4. Проведен анализ мультиагентных подходов, используемых в задачах моделирования, анализа и управления цепями поставок: 1) сети потребностей и возможностей В.А. Виттиха и П.О. Скобелева, Г.А. Ржевского; 2) мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов; 3) модель активных и пассивных преобразователей Б.И. Клебанова и И.М. Москалева; 4) подход А.В. Борщева, Ю.Г. Карпова, реализованный в системе AnyLogic. Наиболее близкими методами к решаемой задаче выявлены ПВ-сеть и МППР.
5. Экспериментально исследована возможность построения динамической мультиагентной модели сети автозаправочных станций с использованием подходов ПВ-сети и МППР. Модель, реализованная с использованием подхода МППР демонстрирует более эффективное решение задачи моделирования развоза топлива, как по объемам перевозок, так и по меньшим вычислительным затратам. Показано, что разработанная модель сети АЗС согласно подходу МППР является адекватным математическим описанием объекта моделирования и служит основой для построения алгоритмов и программ при машинной реализации модели.
6. Проведен анализ моделей представления знаний. Обоснован выбор совместного использования в модели МППР фреймов и продукций.

7. Разработан метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций на основе интеграции транспортной задачи, мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов. Применительно к модели МППР расширена модель реактивно-интеллектуального агента правилами глобальных условий и модернизирован алгоритм имитационного моделирования, который учитывает специфику МППР и минимизирует вычисления.
8. На основе метода были разработаны:
- интеллектуальный агент "Планировщик", интегрированный с комплексом BPsim;
  - интерфейсы интеллектуальной СППР задачи планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, ориентированные на конечного пользователя;
  - программное, информационное, алгоритмическое, методическое обеспечение программного комплекса СППР планирования развоза топлива.
9. Разработанная информационная технология планирования для нефтепродуктообеспечения сети АЗС, построенная на основе продуктов семейства BPsim и «Планировщик», обладает полным перечнем функциональных возможностей, предъявляемых к проблемно-ориентированной СППР планирования снабжения топлива, и отличается:
- организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с СППР (вводе, корректировке данных, создании моделей и решении задач);
  - учетом конструктивных особенностей транспортных средств и их возможностей при обслуживании АЗС;
  - учетом расстояний удаленности объектов сети АЗС, учетом близких АЗС;
  - интеграцией со средствами мультиагентного ИМ процессов логистики;

- поддержкой задач планирования и диспетчеризации в ручном, автоматическом и автоматизированном режиме.

10. Разработанная информационная технология была апробирована в ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург» и Едином диспетчерском центре ООО "Башнефть-Розница" и внедрена в учебном процессе на кафедре ИТ, УрФУ. Экономический эффект от реализации принятых решений на станции технического обслуживания "Тойота Центр Юг Екатеринбург" (ЗАО «Альянс Мотор Екатеринбург») состоит в увеличении объема предоставляемых услуг на 8% в месяц. Применение метода в Едином диспетчерском центре ООО "Башнефть-Розница" позволило обосновать переход к использованию ночного и смешанного (день/ночь) развозу, а также решить задачу планирования развоза топлива. Эффект от внедрения составил 58 миллионов рублей в год.

### Список сокращений и условных обозначений

ААЗС	- автоматическая автозаправочная станция
АЗС	- автозаправочная станция
АПП	- активные и пассивные преобразователи
АРМ	- автоматизированное рабочее место
АС ВМП	- автоматизированная система выпуска металлургической продукции
БД	- база данных
БЗ	- база знаний
ВИНКи	- вертикально-интегрированные нефтяные компании
ГСМ	- горюче-смазочные материалы
ЗнТ	- заявка на топливо
ИА	- интеллектуальный агент
ИМ	- имитационное моделирование
ИС	- информационная система
ИТ	- информационные технологии
КИС	- корпоративная информационная система
ЛПР	- лицо, принимающее решения
МАС	- мультиагентная система
МЛВ	- машина логического вывода
МППР	- мультиагентный процесс преобразования ресурсов
НБ	- нефтебаза
НПЗ	- нефтеперерабатывающий завод
ООП	- объектно-ориентированный подход
ОТС	- организационно-технические системы
ПВ-сеть	- сеть потребностей и возможностей
ПО	- программное обеспечение
СИМ	- система имитационного моделирования
СМО	- система массового обслуживания
СППР	- система поддержки принятия решений

ССП	- система сбалансированных показателей
СТО	- станция технического обслуживания
СУ	- ситуационное управление
ТО	- технический осмотр
ТРК	- топливораздаточная колонка
УДС	- улично-дорожная сеть
ЭС	- экспертная система

### Список литературы

1. <http://www.xjtek.ru/> - описание системы имитационного моделирования AnyLogic
2. Simio.com - описание системы имитационного моделирования Simio
3. Аксенов К.А. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов [Текст]/К.А. Аксенов, Н.В. Гончарова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
4. Аксенов К.А., Шолина И.И., Сафрыгина Е.М. Разработка и применение объектно-ориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского Государственного Технического Университета. 2009. №80. с. 87-97.
5. K. Aksyonov, E. Bykov, L. Dorosinskiy, E. Smoliy and O. Aksyonova (2011). Decision Support based on Multi-Agent Simulation Algorithms with Resource Conversion Processes Apparatus Application, Multi-Agent Systems - Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies, Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.), ISBN: 978-953-307-176-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-based-on-multi-agent-simulation-algorithms-with-resource-conversion-processes-appar> pp.301-326.
6. K. Aksyonov, E. Bykov, L. Dorosinskiy, E. Smoliy, O. Aksyonova, A. Antonova and I. Spitsina (2011). Decision Support Systems Application to Business Processes at Enterprises in Russia, Efficient Decision Support Systems - Practice and Challenges in Multidisciplinary Domains, Chiang Jao (Ed.), ISBN: 978-953-307-441-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-systems-application-to-business-processes-at-enterprises-in-russia> pp.83-108.
7. К.А. Аксенов, Ван Кай, А.С. Антонова, О.П. Аксенова, А.А. Липодаева, Е.Ф. Смолий Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительством // Материалы пятой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2011):

- сборник докладов. Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2011. Т. 2. С. 15-19.
8. Аксенов К.А., Волкова А.В., Смолий Е.Ф., Скворцов А.А., Аксенова О.П., Сафрыгина Е.М. Интеллектуальная система планирования перевозок сети автозаправочных станций // Электронный журнал «Современные проблемы науки и образования» <http://www.science-education.ru/>.
  9. Аксенов К.А. Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем [Текст] // Журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий», 2009.- № 6. -С. 38-45.
  10. Giancarlo Guizzardi, Gerd Wagner Tutorial: Conceptual simulation modeling with Onto-UML [Text] // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, (WSC 2012), December 9-12, 2012, Berlin, Germany. URL: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/inv284.pdf> (дата обращения: 02.06.2013)
  11. Википедия - свободная энциклопедия: Онтология [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Онтология> (дата обращения 14.12.12).
  12. Аксёнов К.А., Спицина И.А. Метод проектирования информационных систем предприятия на основе семантических моделей мультиагентного процесса преобразования ресурсов и программного обеспечения [Текст] // Журнал «Автоматизация и современные технологии». Москва. 2009. - №09. - С. 22-30.
  13. Виттих В.А., Скобелев П.О. “Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах” [Текст], Автоматика и телемеханика, 2003. № 1. - С. 177–185. <http://www.mathnet.ru/links/d2c7575e83bcb485b971291b2c31bcd9/at1830.pdf> (дата обращения 18.06.13)
  14. Москалев И.М. Система анализа и оптимизации процессов преобразования ресурсов [Текст]: дис. кандидата техн. наук: 05.13.01 / И.М. Москалев. Екатеринбург, 2006. 170 с.

- 15.Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Камельский В.Д. Разработка модели логистики на основе интеграции концептуального, объектно-ориентированного, мультиагентного и имитационного моделирования, интеллектуальных систем // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 1; URL:<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1486> (дата обращения: 04.01.2013).
- 16.Аксенова О.П., Аксенов К.А., Попов М.В., Неволина А.Л., Смолий Е.Ф. Решение задачи замены оборудования сети связи на основе интеграции объектно-ориентированного подхода, экспертных систем и деревьев решений // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 6; URL: <http://www.science-education.ru/106-7931> (дата обращения: 25.12.2012).
- 17.Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP-II / Д.А. Гаврилов. -Спб.: Питер, 2005. - 416 с.
- 18.Питеркин С.В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем / С.В. Питеркин, Н.А. Оладов, Д.В. Исаев. – М.: Альпина Паблишер, 2003. - 368 с.
- 19.Вардан Г. Эволюция цепочек поставок // PC Week RE. - 2005. № 27 (489). - С. 24.
- 20.G. Rzevski, J. Himoff, P. Skobelev MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers \ International conference on multi-agent systems \ Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB, Germany, February 2006. URL: <http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf> (дата обращения: 02.06.2013).
- 21.Скобелев П.О. Мультиагентные технологии для управления ресурсами в реальном времени \ выездной семинар «Механика, управление и информатика» (секция «Перспективные компьютерные системы: устройства, методы и концепции»), г. Таруса, 2-4 марта 2011 г.; URL: [http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303\\_03.pdf](http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf) (дата обращения: 22.04.2013).



- 22.Иващенко А.В. Мультиагентная система для управления производством в реальном времени \\\ выездной семинар «Механика, управление и информатика» (секция «Перспективные компьютерные системы: устройства, методы и концепции»), г. Таруса, 2-4 марта 2011 г.; URL: [http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303\\_04.pdf](http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_04.pdf)
- 23.Aksyonov K.A. Theory and practice of decision support tools. Germany, Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2001. 341 p.
24. AksyonovK.A., BykovE.A., DorosinskiyL.G., SmoliyE.F., AksyonovaO.P. (2011). Decision Support based on Multi-Agent Simulation Algorithms with Resource Conversion Processes Apparatus Application. Multi-Agent Systems - Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies. Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.), ISBN: 978-953-307-176-3, InTech, 2011. pp.301-326. Available from: Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-based-on-multi-agent-simulation-algorithms-with-resource-conversion-processes-appar> (accessed 30 April 2013).
- 25.Andrejchikov A.V. Intellectual'nyeinformacionnyesistemy. [Finansyistatistika]. 2004. 424 p.
- 26.Business Studio 4.0: новое пространство бизнес-моделирования [http://www.businessstudio.ru/procedures/business/bs\\_40/full/?print=1](http://www.businessstudio.ru/procedures/business/bs_40/full/?print=1) (дата обращения: 30.04.2013).
- 27.Business Studio: описание функций: Стратегия, KPI, Бизнес-процессы, CMK <http://www.businessstudio.ru/description/functional/> (дата обращения: 16.05.2013).
- 28.Пинаева А. Применение имитационного моделирования на практике <http://www.businessstudio.ru/procedures/business/simulation/> (дата обращения: 30.04.2013).
- 29.Пинаева А. Имитационное моделирование: оптимизируем бизнес-процессы <http://www.businessstudio.ru/procedures/business/immodel/> (дата обращения: 30.04.2013).
- 30.Vittikh V. A., Skobelev P. O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. Automation and Remote Control.

Vol. 64, 2003, pp. 162-169.  
<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1021836811441> (accessed 02 June 2013).

31. Agent Based Modeling. Available at: <http://www.anylogic.com/agent-based-modeling> (accessed 02 June 2013).
32. Рыбина Г.В., Паронджанов С.С. Моделирование процессов взаимодействия интеллектуальных агентов в многоагентных системах [Текст] / Г.В. Рыбина, С.С. Паронджанов // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2008. №3. С. 3-15. URL: [http://www.aidt.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=145](http://www.aidt.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=145) (дата обращения: 02.06.2013).
33. Gensym G2 2011 EDITIONS. Available at: <http://www.gensym.com/product/G2> (accessed 30 April 2013).
34. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.3. № 1. 2001. С. 71-79.
35. Robertson N., Perera T. Automated Data Collection for Simulation // Simulation Practice and Theory 9, 2002. Pp 349-363.
36. Борщев А.В. Применение имитационного моделирования в России // 3-я Всероссийская научно-практическая конференция ИММОД 2007, С.-Петербург. С. 11-16. URL: <http://www.anylogic.ru/upload/iblock/981/98110c406433a4ed72833480ad775068.pdf> (дата обращения: 02.06.2013).
37. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Skvortsov A.A., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Intelligent system for scheduling transportation within gas stations network // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012) December 2012, Berlin, Germany. URL: <http://informatics-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos194.pdf> (дата обращения: 12.02.2013).
38. Aksyonov K.A., E.A. Bykov, Wang Kai, Aksyonova O.P. Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012) December

- 2012, Berlin, Germany. URL: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos172.pdf> (дата обращения: 12.02.2013)
- 39.N. R. Jennings, "On agent-based software engineering," *Artificial Intelligence* , vol. 117, pp. 277-296, 2000.URL: <http://www.agentfactory.com/~rem/day4/Papers/AOSE-Jennings.pdf> (дата обращения: 02.06.2013)
- 40.M. Wooldridge, *Agent-based software engineering*, IEE Proc.SoftwareEngineering144(1).1997.pp. 26–37.
- 41.Martin Kowalski, Stephan Zelewski, Daniel Bergenrodt, Hubert Klupfel. Application of new techniques of artificial intelligence in logistics: an ontology-driven case-based reasoning approach // *Proceedings of ESM'2012 (ESM - European Simulation and Modelling Conference)* October 22-24, 2012, FOM University of Applied Sciences, Essen, Germany. P.323-328.
- 42.Matthias Klump, Gregor Sandhaus Dynamic scheduling in logistic with agent-based simulation // *Proceedings of ESM'2012 (ESM - European Simulation and Modelling Conference)* October 22-24, 2012, FOM University of Applied Sciences, Essen, Germany. P.329-336.
- 43.Рыжкова Н.Г., Аксенов К.А., Неволлина А.Л. Анализ информационных систем поддержки принятия решений в сфере логистики // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 6.;URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15290>(дата обращения: 03.04.2016).
- 44.Giancarlo Guizzardi and Gerd Wagner. In: J. Barjis, T. Eldabi and A. Gupta (Eds.). *Can BPMN Be Used for Making Simulation Models?. Enterprise and Organisational Modeling and Simulation*. Springer. June, 20-21, 2011. volume 88. *Lecture Notes in Business Information Processing*. London, UK. <https://oxygen.informatik.tu-cottbus.de/publications/wagner/EOMAS-2011.pdf> (дата обращения: 02.06.2013)
- 45.Professor Gerd Wagner <https://oxygen.informatik.tu-cottbus.de/publications/wagner/> (дата обращения: 18.09.2016)
- 46.Аксенов К.А., Рудь С.И., Рудь А.И., Неволлина А.Л. Применение мультиагентного имитационного моделирования при решении задачи снабжения сети строительных магазинов. Седьмая Всероссийская научно-

- практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015), 21-23 октября, Москва, Институт проблем управления РАН, Т.2. С. 13-17.
47. Aksyonov K.A., Nevolina A.L., Aksyonova O.P. Application of multi agent simulation for logistic scheduling (Применение мультиагентного имитационного моделирования для задач планирования логистики) 23rdInt. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). 9-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.
48. Клебанов Б.И., Крицкий А.В. Информационная система поддержки принятия решений на основе мультиагентного подхода // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов № 10 - Курск. 2007. URL: <http://www.jurnal.org/articles/2007/inf21.html> (дата обращения: 29.05.2013).
49. Бегунов Н.А. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-munitsipalnyh-obrazovaniy-na-osnove-agentnogo-podhoda> (дата обращения: 29.05.2013).
50. Клебанов Б. И., Н.А. Бегунов, И.М. Москалев, И.А. Рапопорт. Технологии DataMining при разработке мультиагентных имитационных моделей// Журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий». - Москва: Изд-во «Машиностроение», 2010, №2. С. 42-47.
51. Заходякин Г.В., Мешалкин В.П. Логистическое управление цепями поставок нефтеперерабатывающих предприятий с использованием мультиагентных имитационных моделей Нефтегазовое дело, 2003. <http://www.ogbus.ru> URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Meshalkin/Meshalkin\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Meshalkin/Meshalkin_1.pdf) (дата обращения: 29.05.2013).
52. Толуев Ю.И. Моделирование логистических процессов: традиции и инновации <http://www.twirpx.com/file/810309/> (дата обращения: 29.05.2013)
53. Использование имитационного моделирования как метода исследования логистики в процессе проектирования А. В. Абросимов, В. А. Андреев, А. С.

- Рукоусев (Санкт-Петербург) <http://simulation.su/uploads/files/default/immod-2003-2-158-162.pdf>(дата обращения: 29.05.2013)
- 54.Экспертная логистическая информационная система URL: <http://www.ramax.ru/projects/istss/metal>(дата обращения: 29.05.2013)
- 55.RustamVahidov and Gregory E. Kersten Decision Station: Situating Decision Support Systems // Decision Support Systems 2004, Vol. 38 No. 2, (pp. 283-303) URL: <http://interneg.concordia.ca/views/bodyfiles/paper/2002/06.pdf> (дата обращения: 22.09.2014)
- 56.H. V. D. Parunak, Industrial and practical applications of DAI, in: G. Weiss (Ed. ), Multi-Agent Systems , MIT Press , Cambridge, M A, 1999, pp. 377–421
- 57.H. Van Dyke Parunak “Go to the Ant”: Engineering Principles from Natural Multi - Agent Systems // Annals of Operations Research 75 (1997) pp. 69-101. URL: <http://jmvidal.cse.sc.edu/library/parunak97b.pdf> (дата обращения: 02.06.2013)
- 58.H. Van Dyke PARUNAK Chapter 4: Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry // Forthcoming in O'Hare and Jennings, eds., Foundations of Distributed Artificial Intelligence. WileyInter-Science, 1994. 18 p. URL:<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=1FB5F0A66A8926FFE6436CD681114FBB?doi=10.1.1.34.1502&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 22.09.2014)
- 59.H. Van Dyke Parunak Manufacturing Experience with the Contract Net (1987) <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.12.2958> (дата обращения: 22.09.2014)
- 60.Jyi-Shane Liu Multiagent Coordination in Tightly Coupled Task Scheduling (1996) [citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.44.7000&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.44.7000&rep=rep1&type=pdf) (дата обращения: 02.06.2013)
- 61.Klaus Fischer, Jörg P. Müller, Markus Pischel, Darius Schier. A model for cooperativetransportation scheduling(1995) <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.53.7577> (дата обращения: 02.06.2013)
- 62.AchimBachem , Winfried Hochstättler , Martin Malich The Simulated Trading Heuristic for Solving Vehicle Routing Problems (1996) //

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.45.2910> (дата обращения: 02.06.2013)

63. Stephen F. Smith Knowledge-based production management: Approaches, results and prospects (1992)  
[citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.67.4334&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.67.4334&rep=rep1&type=pdf)  
(дата обращения: 02.06.2013)
64. А.А. Зуенко, А.Я. Фридман "Контекстный подход в системах сопровождения открытых концептуальных моделей предметной области" ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ 3/2008. (стр. 41 - 51)  
[http://www.aidt.ru/images/documents/2008-03/2008-03\\_41\\_51pp.pdf](http://www.aidt.ru/images/documents/2008-03/2008-03_41_51pp.pdf) (дата обращения: 02.06.2013)
65. Александров А.Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология) Диссертация на соискание уч. ст. д.т.н., УрГУПС, 2008г
66. Aksyonov K. A., Dudin N. A., Nudga A. S., Nevolina A. L. Simulation and analysis of the auto repair station (Моделирование и анализ работы станции технического обслуживания автомобилей) // 25<sup>th</sup> Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2015), 6-12 September 2015, Sevastopol, vol. 1, pp.283-284.
67. Аксенов К.А., Антонова А.С., Спицина И.А., Сысолетин Е.Г., Аксенова О.П. Разработка автоматизированной системы анализа, моделирования и принятия решений для металлургического предприятия на основе мультиагентного подхода // Автоматизация в промышленности. - 2014. - № 7. - С. 49-53.
68. Аксенов К.А., Спицина И.А., Сысолетин Е.Г., Македонский А.М., Аксенова О.П. Метод разработки имитационных моделей реального времени и интеграции с корпоративной системой предприятия // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 6.;  
URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11415> (дата обращения: 04.04.2016).

69. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP) // Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 26-29 июля, 2015. P. 345-348.
70. Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise // International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, P. 871-875. WOS:000361112900160.
71. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Industrial Simulation of Metallurgical Logistics // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.600-603.
72. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.
73. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A., Real-time simulation modeling of logistics in metallurgical production, Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification (MSI 2014), July 16 - 18, 2014, Banff, Canada, pp. 30-37.
74. Описание программного продукта «Первый БИТ». URL: <http://www.1cbit.ru/tor/btask/skladckaya-logistika/> (дата обращения 07.10.2014)
75. Описание программного продукта DNA evolutions. URL: <http://www.dna-evolutions.com/joptproductlineoverview.html> (дата обращения 07.10.2014)
76. Описание программного продукта E-SKLAD. URL: <http://www.datascan.ru/systems/sklad/e-sklad.htm> (дата обращения 07.10.2014)
77. Описание программного продукта iSolutions. URL: <https://pinpoint.microsoft.com/Applications/12884936173?locale=ru-ru> (дата обращения 07.10.2014)

- 78.Описание программного продукта JDA. URL: <http://www.jda.com/ru/solutions.cfm> (дата обращения 07.10.2014)
- 79.Описание программного продукта RoadnetTransportationSuite. URL: <http://www.roadnet.com/pub/products/Roadnet-Transportation-Suite/> (дата обращения 07.10.2014)
- 80.Описание программного продукта Solvo. URL: <http://www.solvo.ru/> (дата обращения 07.10.2014)
- 81.Описание программных решений IBM для управления цепочками поставок. URL: <http://www-142.ibm.com/software/products/ru/ru/ibmilogtrananal/> (дата обращения 07.10.2014)
- 82.Сергеев В.И. Логистика: Информационные системы и технологии: учебно-практическое пособие / Сергеев В.И., Григорьев М.Н., Уваров С.А. - М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2008. - 608 с.
- 83.Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Solving the Problem of Efficient Gas Delivery with Aid of Decision Support System BPsim.DSS based on Simulation Modeling, Proceedings of the 2014 SCS Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'14), July 6 - 10, 2014, Monterey, CA, USA, pp. 107-111.
- 84.Nevolina A. L., Aksyonova O. P., Smoliy E. F. Development of simulation systems and decision-making method in the logistic field // 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.435-436.
- 85.Галяутдинов Р.Р. Транспортная задача - решение методом потенциалов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://galyautdinov.ru/post/transportnaya-zadacha> (дата обращения: 12.05.2016);
- 86.Просветов Г.И. Математические методы в логистике: задачи и решения: Учебно-практическое пособие / Г.И. Просветов. М.: Изд-во «Альфа-Персс», 2014. 304с.;
- 87.Скобелев О.П. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений: Автореф. дис. на соиск. учен.степ. д.т.н. - Самара, 2003. - 35 с.



- 88.RunTheModel: Upload, share and run your AnyLogic models online [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.RunTheModel.com](http://www.RunTheModel.com) (дата обращения: 20.09.2016).
- 89.XJ technologies: Имитационное моделирование - AnyLogic [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.xjtek.ru/> (дата обращения: 12.07.12).
- 90.Литвин В.Г., Аладышев В.П., Винниченко А.И. Анализ производительности мультипрограммных ЭВМ. -М. : Финансы и статистика, 1984. - 159 с.
- 91.Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. - М.: Бестселлер, 2003. - 416 с.
- 92.Ван Кай, Аксенов К.А., Аксенова О.П., Киселёва М.В. Использование аппарата операционного анализа вероятностных сетей для определения среднего количества приборов обслуживания мультиагентной модели // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 3. - URL: <http://www.science-education.ru/103-6290> (дата обращения: 20.09.2016).
- 93.Ван Кай, Аксенов К.А., Аксенова О.П., Киселёва М.В. Использование аппарата операционного анализа вероятностных сетей для определения среднего количества приборов обслуживания мультиагентной модели // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 3. - URL: <http://www.science-education.ru/103-6290> (дата обращения: 20.09.2016).
- 94.ERP-Lexema- автоматизированная система управления предприятием <http://lexema.ru/solutions/erp-lexema/>(дата обращения: 20.09.2016).
- 95.Симакина А. "Башнефть" переходит с 1С на SAP [http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8:%C2%AB%D0%91%D0%B0%D1%88%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D1%8C%C2%BB\\_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%82\\_%D1%81\\_1%D0%A1\\_%D0%BD%D0%B0\\_SAP](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8:%C2%AB%D0%91%D0%B0%D1%88%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D1%8C%C2%BB_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%82_%D1%81_1%D0%A1_%D0%BD%D0%B0_SAP)(дата обращения: 20.09.2016)
- 96.Жанчивын Оюунгэрэл. Совершенствование методов управления системой нефтепродуктообеспечения: на примере Монголии: диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.05, 08.00.14 Москва, 2006. 147 с.

- 97.Беленький А.С. Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования. - М.: Мир, 1992. - 582 с.
- 98.LaporteG., NobertY., Desrochers M. Optimal routing under capacity and distance restrictions // Operations Research. - 1985. N 33. - P. 1050-1073.
- 99.BalinskiM., QuandtR. On an integer program for a delivery problem // Operations Research. – 1964. N12. – P. 300-304.
100. Коваленко В.Г. Системы обеспечения нефтепродуктами / Коваленко В.Г., Кантор Ф.М., Хабаров С.Р. - М.: Недра, 1982. - 237 с.
101. Прохоров А.Д., Дьяченко И.Ф., Мигдалов В.Н. Системы АЗС в условиях перехода к рынку // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1997. - № 4-5. - С. 23-27.
102. Цагарели Д.В., Глухарев К.К. Теория, моделирование и корпоративные механизмы строительства региональной бензиновой сети АЗС // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1997. - № 3. - С. 16-25.
103. Схема развития сети АЗС г. Волгограда на период 1991-2005 гг. // Прохоров А.Д., Доронин В.В., Хабаров А.С. - М.: НТТМ «Стимул», 1990. - 145 с.
104. Плитман И.Б. Планировочные решения и технологические схемы АЗС / И.Б. Плитман. - М.: Изд-во ЦНИИТЭнефтехим, 1973. -с. 50.
105. Безродный А.А. Системный анализ, модели и методы управления процессами и объектами в сетях автозаправочных станций: диссертация ... доктора технических наук: 05.13.01 Саратов, 2010. 325 с.
106. Зоря Е.И. Нейросетевая экспертная система формирования оценок состояния процесса нефтепродуктообеспечения / Е.И. Зоря, В.В. Прохоров // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1995. - № 8.
107. Давлетьяров Ф.А. Система территориального мониторинга в контуре управления нефтяной компанией // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 1996. - № 10-11. С. 2-6.
108. Шарифов В.С. Эффективное управление в условиях рынка / В.С. Шарифов. М.: Нефть и газ, 1997. - 240 с.

109. Филиппович А.Ю. Интеграция ситуационного, имитационного и экспертного моделирования в полиграфии / А.Ю. Филиппович. М., 2003. 310 с.
110. Филиппович А.Ю. Система имитационного моделирования допечатных процессов / А.Ю. Филиппович, И. Шапиро // Проблемы полиграфии и издательского дела. 2002. №3. С. 62-75.
111. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами / Ю.И. Клыков. М.: Энергия, 1974. 136 с.
112. Клыков Ю.И. Семиотические основы ситуационного управления / Ю.И. Клыков. М.: МИФИ, 1974. 220 с.
113. Клыков Ю.И. Банки данных для принятия решений / Ю.И. Клыков, Л.Н. Горьков. М.: Сов.радио, 1980. 155 с.
114. Пospelов Д.А. Мышление и автоматы / Д.А. Пospelов, В.Н.Пушкин. М.: Советское радио, 1972. 224 с.
115. Пospelов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Пospelов. М.: Наука, 1986. 288 с.
116. Швецов А.Н. Модели и методы построения корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 / А.Н. Швецов. Санкт-Петербург, 2004. 461 с.
117. Greenwald A. Guest Editors' Introduction: Agents and Markets / A. Greenwald, N. Jennings, P. Stone // Intelligent Systems. 2003. Vol.18. p. 12-14.
118. Исследование операций: том 2. под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.
119. Городецкий В.И. Открытые многоагентные системы и самоорганизация: Новые возможности // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2012, Белгород, 18 октября <http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2012/present/Gorodetsky.pdf>
120. V.Gorodetskiy, O.Karsaev, V. Samoilov, V.Skormin. Multi-Agent Technology for Air Traffic Control and Incident Management in Airport Airspace. Proceedings of the International Workshop "Agents in Traffic and Transportation", Estoril, Portugal, IEEE Computer Press, pp.119-125, 2008.

121. V.Gorodetsky, L.Cao and P.Mitkas. Agent Mining: The Synergy of Agent and Data Mining. International Journal "IEEE Intelligent Systems", May/June 2009, 64–72.
122. Devyatkov, V.V. Cloud Technology in Simulation Studies: GPSS Cloud Project (Облачные технологии в имитационных исследованиях: Проект GPSS Cloud) / V.V. Devyatkov, S.A. Vlasov, T.V. Devyatkov // Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modeling, Management, and Control. -Saint Petersburg (Russia): IFAC, June 19-21, 2013. - Volume 7. - Part 1. - P. 637-641.
123. Девятков В.В. Имитационное моделирование в задачах пропускной способности железных дорог / В.В. Девятков, С.А. Власов, Т.В. Девятков, И.А. Кузнецов, В.Л. Павлов и др. // Автоматизация в промышленности. - 2013. - №7 июль. - С. 47-49.
124. Девятков В.В. Имитационное моделирование системы сервисного обслуживания в нефтегазовой компании / В.В. Девятков // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2014. - № 8/2014. - С. 31-37.
125. Девятков В.В. Системный анализ и имитационные исследования транспортной системы Универсиады 2013 в Казани / В.В. Девятков // Транспортное дело России. - 2014. - № 4 (113). - С. 24-27.

### Список публикаций автора

#### Публикации в РЖ ВАК

1. Неволина А.Л., Аксенов К.А. Применение гибридной мультиагентной архитектуры в системе поддержки принятия решений снабжения сети автозаправочных станций // Современные наукоемкие технологии № 12 (часть 1) 2016, стр. 14-18.
2. Неволина А.Л. Аксенов К.А. Разработка гибридного метода планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций // Фундаментальные исследования № 11 (часть 2) 2016, стр. 239-243.
3. Рыжкова Н.Г., Аксенов К.А., Неволина А.Л. Анализ информационных систем поддержки принятия решений в сфере логистики // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15290> (дата обращения: 03.04.2016).
4. Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Смолий Е.Ф. Мультиагентное моделирование и планирование логистики // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 4; URL: [www.science-education.ru/110-9744](http://www.science-education.ru/110-9744) (дата обращения: 16.08.2013).
5. Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Камельский В.Д. Разработка модели логистики на основе интеграции концептуального, объектно-ориентированного, мультиагентного и имитационного моделирования, интеллектуальных систем // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 1; URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1486> (дата обращения: 04.02.2013).
6. Аксенова О.П., Аксенов К.А., Попов М.В., Неволина А.Л., Смолий Е.Ф. Решение задачи замены оборудования сети связи на основе интеграции объектно-ориентированного подхода, экспертных систем и деревьев решений // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 6; URL: <http://www.science-education.ru/106-7931> (дата обращения: 25.12.2012).

7. Аксенова О.П., Аксенов К.А., Камельский В.Д., Неволлина А.Л. Анализ организации распределенной многопользовательской работы в системах имитационного моделирования бизнес-процессов // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 5; URL: <http://www.science-education.ru/105-6936> (дата обращения: 03.09.2012).

#### Прочие публикации


8. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Goncharova N. The Multi-agent Resource Conversion Processes Model Design and Implementation // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2016, WCECS 2016, October 19-21, San Francisco, USA. Vol I. P. 219-223.
9. Aksenov K., Zykina M., Nevolina A., Ayvazyan A. Development of intellectual fuel supplies planning system (Разработка интеллектуальной системы планирования развоза топлива) // 26<sup>th</sup> Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2016), 4—10 September 2016, Sevastopol, vol. 1, pp.831-837.
10. Aksyonov K. A., Dudin N. A., Nudga A. S., Nevolina A. L. Simulation and analysis of the auto repair station (Моделирование и анализ работы станции технического обслуживания автомобилей) // 25th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2015), 6—12 September 2015, Sevastopol, vol. 1, pp.283-284.
11. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP) // Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 26-29 июля, 2015. P. 345-348.
12. Аксенов К.А., Рудь С.И., Рудь А.И., Неволлина А.Л. Применение мультиагентного имитационного моделирования при решении задачи снабжения сети строительных магазинов. Седьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование.

Теория и практика» (ИММОД-2015), 21-23 октября, Москва, Институт проблем управления РАН, Т.2. С. 13-17.

- 13.Nevolina A. L., Aksyonova O. P., Smoliy E. F. Development of simulation systems and decision-making method in the logistic field // 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.435-436.
- 14.Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A., Real-time simulation modeling of logistics in metallurgical production, Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification (MSI 2014), July 16 - 18, 2014, Banff, Canada, pp. 30-37.
- 15.Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Solving the Problem of Efficient Gas Delivery with Aid of Decision Support System BPsim.DSS based on Simulation Modeling, Proceedings of the SCS Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'14), July 6-10, 2014, Monterey, USA, pp.107-111.
- 16.Aksyonov K.A., Nevolina A.L., Aksyonova O.P. Application of multi agent simulation for logistic scheduling (Применение мультиагентного имитационного моделирования для задач планирования логистики) 23rd Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). 9-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.
- 17.Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013615160 от 29 мая 2013. Модуль планирования имитационного эксперимента модели процесса преобразования ресурсов "Планировщик". Аксенов К.А., Антонова А.С., Аксенова О.П., Ван Кай, Неволлина А.Л.
- 18.Аксенов К.А., Неволлина А.Л., Аксенова О.П. Разработка системы планирования для сети автозаправочных станций на основе среды BPsim // Материалы шестой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2013): сборник докладов. Казань: Академия наук РТ, 2013. Т.2. С.24-29.



## Приложение 1. Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ  
  
Начальник СТО  
ЗАО "Альянс Мотор Екатеринбург"  
Самолуков Д.В.  
«28» мая 2015

АКТ  
внедрения результатов НИР  
бакалавра Нудьга А.С., к.т.н., доцента Аксенова К.А.,  
аспиранта Невוליной А.Л., бакалавра Дудина Н.А.

Настоящим подтверждаю, что результаты научно-исследовательской работы бакалавра Нудьга А.С., к.т.н., доцента Аксенова К.А., аспиранта Невוליной А.Л., бакалавра Дудина Н.А., а именно, имитационная модель, разработанная в системе VPsim.MAS, результаты анализа работы станции технического обслуживания «Тойота Центр Екатеринбург Юг» и рекомендации по совершенствованию в части увеличения тоннажности двух подъёмников, установки дополнительной системы регулировки углов колес, а также возможности установки аксессуаров на дополнительном подъемнике внедрены в ЗАО "Альянс Мотор Екатеринбург". Экономический эффект от реализации принятых решений состоит в увеличении объема предоставляемых услуг на 8 %, что составляет 37000 руб. / месяц.



« 19 » августа 2016 г.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель уральского сектора  
Единого Диспетчерского Центра  
ООО «Башнефть-розница»  
С.П. Д.Ю.



### АКТ

#### внедрения результатов НИР

сотрудников кафедры ИТ Уральского федерального университета: к.т.н., доцента, зав. кафедрой ИТ Аксенова К.А., соискателя Невוליной А.Л., инженера Смолий Е.Ф.

Настоящим подтверждаю, что результаты научно-исследовательской работы сотрудников кафедры ИТ ФГАОУ ВПО "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина" Аксенова К.А., Невוליной А.Л., Смолий Е.Л., а именно: Мультиагентный метод планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций (АЗС) и системы BPsim.MAS, BPsim.DSS, "Планировщик" использовались для задач анализа процессов логистики и планирования в ОАО "Башнефть-розница".

В результате были разработаны мультиагентные модели процессов снабжения сети АЗС в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS и системе принятия решений BPsim.DSS и "Планировщик", реализующие алгоритмы планирования и диспетчеризации.

Результаты экспериментов показали следующие результаты:

- 1) экспериментальный план дает согласованность с результатами фактического плана, составленного специалистом-диспетчером;
- 2) использование автоматического алгоритма планирования позволяет учитывать предпочтения лица, принимающего решения, в части стратегий развоза, приоритетность обслуживания емкостей АЗС, ограничения по транспортным средствам (бензовозам) и АЗС (в части обслуживания бензовозами);
- 3) общий экономический эффект от решения задачи перехода к ночному и смешанному (день/ночь) развозу составил 58 миллионов рублей в год.



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
ФГАОУ ВО «УрФУ»

д.т.н., доцент

С.Т. Князев

« 4 » сентября 2016

## АКТ

внедрения результатов НИР  
ст.преподавателя Невוליной А.Л.

Настоящим подтверждаю, что результаты научно-исследовательской работы ст.преподавателя Невוליной А.Л., а именно, метод планирования для нефтепродуктообеспечения сети автозаправочных станций используются в учебном процессе на кафедре Информационных технологий Института радиотехники и информационных технологий - РТФ (ИРИТ-РТФ) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина» для обучения студентов направления 090301 и 090401 «Информатика и вычислительная техника» в курсах «Системы искусственного интеллекта» и «Системы поддержки принятия решений».

Директор  
ИРИТ-РТФ,  
д.т.н., доцент

С.Н. Шабунин